

I primi studi riguardanti la durabilità degli elementi costruttivi in edilizia iniziarono presso il Dipartimento di Ingegneria Edile dell'Università Federico II di Napoli nel 1988, anno nel quale si pensò ad intraprendere diverse iniziative destinate poi – nel disegno originario – ad incrociarsi dopo molti anni di ricerca e di approfondimento.

Contemporaneamente si cominciò a progettare un modello di gestione di dati da raccogliere sul campo, si selezionarono edifici da sottoporre ad osservazione, sia negli anni successivi, sia – attraverso estrapolazioni consentite dai dati già a disposizione – retroattivamente, si pensò di focalizzare l'attenzione su alcuni componenti, si iniziò la scelta ed individuazione degli edifici-campione, si avviarono studi di dettaglio su ciascun edificio selezionato.

Dieci anni dopo fu pubblicato il primo risultato della ricerca, e fu presentato un metodo per la valutazione della durata di elementi costruttivi, attraverso un algoritmo di calcolo derivato dall'osservazione del comportamento in servizio degli edifici campione.

Successivamente, nel 2000, la ricerca prendeva anche un'altra direttrice di sviluppo, a seguito dell'acquisto da parte del Dipartimento di Ingegneria Edile, di attrezzature per le prove di invecchiamento accelerato.

Grazie ad un cofinanziamento del Ministero per l'Istruzione, l'Università e la Ricerca è stata poi sviluppata una ricerca in sinergia con le Università di Milano, Torino, Brescia, Palermo e Catania, i cui risultati sono contenuti nel presente volume, proprio mentre a livello normativo alcuni dei componenti delle unità di ricerca contribuivano all'implementazione e alla pubblicazione della UNI 11156.

Al di là dell'aspetto scientifico, si ritiene che gli sforzi sostenuti in questi anni abbiano portato a risultati tangibili sul piano pratico, nell'intento di offrire al mondo della produzione edilizia (professionisti, produttori, imprenditori, committenze pubbliche e private) quelle informazioni utili alla corretta programmazione e gestione dell'obsolescenza dei componenti edilizi.

Maurizio Nicoletta è professore associato di "Produzione Edilizia" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli, dove è titolare del corso di Costruzioni Edili e docente di Manutenzione Programmata.

Si è sempre occupato di temi afferenti alla manutenzione programmata degli edifici, all'affidabilità e durabilità degli elementi edilizi, alla organizzazione della produzione, alle patologie edilizie.

Alba De Pascale, laureata in Ingegneria Civile Edile, ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Ingegneria per il Recupero e l'Innovazione Tecnologica" presso l'Università Federico II di Napoli, con una tesi sulla durabilità.

Patrizia Desiderio, laureata in Ingegneria Civile Edile, ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Ingegneria per il Recupero e l'Innovazione Tecnologica" presso l'Università Federico II di Napoli, con una tesi sull'applicazione dei materiali compositi in edilizia, e successivamente e ha svolto attività di post-dottorato con una ricerca sulla curabilità dei materiali compositi.

Maria Gabriella Russo, laureata in Architettura, ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in "Ingegneria per il Recupero e l'Innovazione Tecnologica" presso l'Università Federico II di Napoli, con una tesi sulla manutenzione programmata.

a cura di Maurizio Nicoletta

LA DURABILITÀ DELLE COPERTURE CONTINUE

ISBN 88-7454-033-7



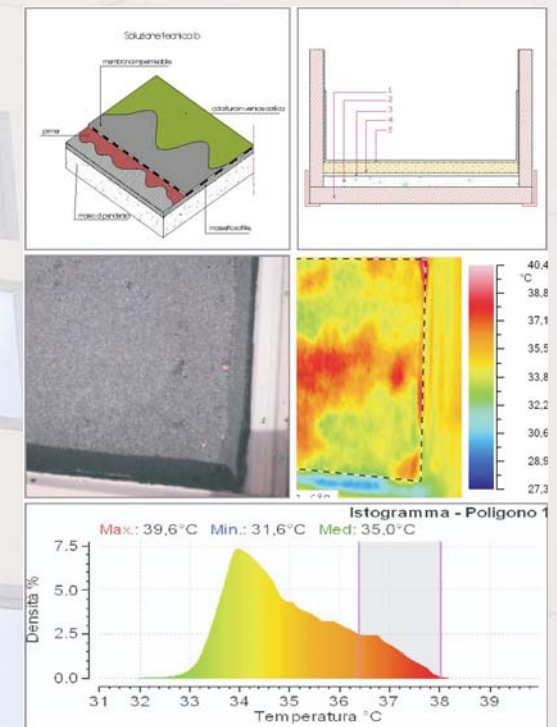
9 1788874 154033 4

Prezzo € 15,00



La durabilità delle coperture continue

a cura di Maurizio Nicoletta



ediTechnica

La durabilità delle coperture continue

A cura di Maurizio Nicolella

ISBN 88-7454-033-7

Prima edizione: Settembre 2006

Volume pubblicato nel quadro della ricerca di interesse nazionale MIUR-COFIN 2003

**METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE E VALUTAZIONE
DELLA DURABILITA' DEI COMPONENTI EDILIZI**

Sedi universitarie coinvolte: Milano, Torino, Brescia, Napoli, Palermo, Catania

Coordinamento centrale:

prof. Pietro Natale Maggi e prof. Bruno Daniotti - Politecnico di Milano

Sede Operativa Napoli – cod. 2003081703_005

Coordinamento prof. Maurizio Nicolella

Titolo del programma dell'Unità locale: *Sviluppo metodologico e valutazione sperimentale della durabilità di coperture continue*

EDITECNICA srl

Sede legale, redazione ed amministrazione:

Via Caravaggio, 8 - 90145 Palermo

Tel. 091 6854818 Fax 091204016

E-mail: info@editecnica.it

Internet: <http://www.editecnica.it>

Finito di stampare nel mese di Settembre 2006

presso la Tipografia Alba

Via Citarrella n. 2 - Palermo

Si ringraziano:

la Soc. Coop. CO.RE.FRA. a r.l. per la collaborazione offerta nel confezionamento dei provini.

la CO.PRO.MA. nella persona dell'Ing. Massimo Prencipe per la collaborazione offerta nelle prove termografiche

Maurizio Nicolella (a cura di)

La durabilità delle coperture continue

ediTecnica

INDICE

	Introduzione	9
1	La durabilità delle coperture continue	11
1.1	Premessa	11
1.2	Problematiche di durata delle coperture continue	12
1.3	Caratteristiche tecnologiche dei provini	13
1.4	Correlazione fra requisiti, caratteristiche funzionali e soglie prestazionali	14
1.5	Caratteristiche morfologiche dei provini	15
1.6	Determinazione del ciclo di prova	21
2	La sottoclasse delle coperture continue <i>di Maria Gabriella Russo</i>	21
2.1	Introduzione	21
2.2	Classificazione delle coperture continue	24
2.3	Gli strati funzionali delle coperture continue	26
2.4	Il repertorio delle coperture continue	29
3	Requisiti e prestazioni delle coperture continue <i>di Patrizia Desiderio</i>	41
3.1	Resistenza ad azioni di natura meccanica	47
3.1.1	Resistenza a trazione della membrana	47
3.1.2	Resistenza alla trazione delle giunzioni	48
3.1.3.	Resistenza al distacco delle giunzioni	48
3.1.4	Resistenza a flessione dell'isolante termico	50
3.2	Resistenza ad azioni di natura termica	52
3.2.1.	Flessibilità a freddo della membrana	52
3.2.2	Stabilità dimensionale della membrana	54
3.2.3	Stabilità dimensionale dell'isolante termico	56
3.3	Resistenza ad azioni varie	58
3.3.1	Tenuta all'acqua della membrana	58
3.3.2	Trasmissione del vapore d'acqua della membrana	60
3.3.4	Resistenza alla grandine della membrana	62

3.3.5	Trasmissione del vapore acqueo dell'isolante termico	63
4	Riconoscimento e rilievo dei decadimenti prestazionali degli elementi in opera <i>di Patrizia Desiderio</i>	65
4.1	Introduzione	65
4.2	Anomalie rilevabili e diagnosi	66
4.3	Metodologie per la valutazione dei decadimenti prestazionali: a vista e strumentali	72
4.3.1	Premessa	72
4.3.2	Impostazione del programma di prove	73
4.3.3	Prove prima del condizionamento	76
4.3.4	Prove prima, durante e dopo il condizionamento	77
4.3.5	Prove dopo il condizionamento	86
5	Analisi dei fattori di degrado <i>di Alba De Pascale</i>	89
5.1	I fattori secondo le norme	89
5.2	Scelta dei fattori	95
6	Proposta metodologica per la valutazione della durata <i>di Alba De Pascale</i>	97
6.1	Premessa	97
6.2.	Valore medio-normale	97
6.3	Fattori di influenza e condizioni di variazione	98
6.4	Calcolo della durata	98
6.4.1	Metodo indiretto	99
6.4.2	Metodo diretto	101
6.5	Esempio applicativo	103
7	Proposta metodologica per la determinazione del ciclo di condizionamento <i>di Alba De Pascale</i>	113

7.1	Introduzione	113
7.2	Scelta dei contesti climatici da valutare	113
7.3	Selezione dei fattori di influenza	114
7.4	Selezione e reperimento dai climatici	115
7.5	Composizione dei campioni di prova	120
7.6	Definizione e composizione dei cicli di prova	122
7.7	Note per la composizione dei cicli in qualunque contesto climatico	127
	Bibliografia essenziale	131

Introduzione

Nella sede di Napoli i primi studi riguardanti la durabilità degli elementi costruttivi in edilizia iniziarono nel 1988, anno nel quale si pensò ad intraprendere diverse iniziative destinate poi – nel disegno originario – ad incrociarsi dopo molti anni di ricerca e di approfondimento dei dati.

Ed allora, contemporaneamente:

- *si cominciò a progettare un modello di gestione di dati da raccogliere sul campo, inizialmente mediante una matrice piana triangolare che metteva in correlazione i fattori che determinano decadimento di prestazione;*
- *si selezionarono edifici da sottoporre ad osservazione, sia negli anni successivi, sia – attraverso estrapolazioni consentite dai dati già a disposizione – retroattivamente;*
- *si pensò di focalizzare l'attenzione su alcuni componenti, per testare inizialmente sia l'attendibilità dei dati raccolti sul campo, che, successivamente, quella del modello di gestione;*
- *si iniziò la scelta ed individuazione degli edifici-campione;*
- *si avviarono studi di dettaglio, anche con l'ausilio di tesisti, su ciascun edificio campionato, per poter descrivere le dinamiche di degrado sui componenti individuati e tracciarne, con una certa attendibilità, le curve prestazione/tempo.*

Dieci anni dopo fu pubblicato il primo risultato della ricerca, che nel frattempo aveva rappresentato il tema di un dottorato sponsorizzato da una multinazionale che opera – fra l'altro – nel settore delle malte per intonaci; nella ricerca veniva presentato un metodo per la valutazione della durata di elementi costruttivi attraverso un algoritmo di calcolo derivato dall'osservazione del comportamento in servizio degli edifici campione.

Era un primo punto fermo, una tappa intermedia e non certo un punto di arrivo, anche perché nel frattempo, dopo pochi anni, veniva pubblicata la ISO 15686, nella quale il Factor Method presentava notevoli analogie formali pur con notevoli differenze di fondo.

E anche perché nel frattempo l'intuizione che il metodo – battezzato scherzosamente "NIC" dal gruppo di giovani ricercatori che hanno collaborato – potesse avere compiuta validazione mediante prove di invecchiamento accelerato, prendeva corpo con l'acquisto da parte del Dipartimento di Ingegneria Edile, di attrezzature che potevano consentire di seguire questo percorso metodologico.

Ma l'ingresso in laboratorio determinò anche una "biforcazione culturale", complice l'incontro con il Gruppo Durabilità di Milano, che da tempo si era dedicato a ricerche sul questo tema ed allora, insieme alla prosecuzione degli studi sull'ormai nominato "Metodo NIC", presero il via quelli in sinergia con le unità di ricerca di Torino, Brescia, Palermo e Catania.

I risultati ed il percorso metodologico sono descritti nel presente volume.

Ma non può essere trascurato di ricordare che, nel frattempo, il gruppo di lavoro GL 15, operando in seno alla SC3 dell'UNI, aveva conseguito l'importantissimo risultato della pubblicazione di una norma, la UNI 11156, che oltre a recepire concetti e definizioni della ISO 15686, proponeva alcuni differenti approcci, testimonianza degli studi condotti per l'appunto a Milano ed a Napoli.

Approcci che vanno considerati come un rilevante contributo italiano in seno al panorama mondiale della ricerca sulla durabilità, un panorama in grande fermento e destinato a significative modificazioni culturali nel campo delle applicazioni.

Capitolo 1

La durabilità delle coperture continue

1.1 Premessa

La durabilità, com'è noto, è definibile come la capacità di un edificio o di parte di esso, di fornire una o più prestazioni mantenendole al di sopra di un certo livello prefissato, per un certo periodo di tempo.

Per gli operatori del mondo della produzione l'aspetto da considerare più rilevante è sicuramente da considerare la durata o ciclo di vita, ovvero l'intervallo di tempo intercorrente fra la messa in opera o recupero di un elemento ed il momento in cui esso fornisce prestazioni al di sotto del livello minimo prefissato.

Ed è questo, indubbiamente, il punto di contatto fra i due mondi – quello della ricerca e quello della produzione edilizia – in questo ambito, attesa la pluriennale aspettativa e la notevole sete di conoscenza che attanaglia chi produce, chi vende, chi progetta, chi dirige, chi collauda, chi gestisce nel campo della durabilità.

La determinazione della durata di un edificio rappresenta da molto tempo uno degli argomenti di maggior fascino e di altrettanta elevata complessità: un argomento, in realtà, che è come una sirena, tanto affascinante quanto pericoloso, perché se non si prova ad affrontarlo partendo dai "pezzi" in cui un edificio può e deve essere scomposto, è destinato a far smarrire il navigatore.

Ed allora appare decisamente opportuno addentrarsi preliminarmente nel problema della durata degli elementi tecnici, argomento di per sé già molto complesso, per poi porsi i giusti interrogativi sulle connessioni fra essi, ad un livello via via più complesso, per potere poi – infine - ragionare a scala di edificio.

Dal punto di vista metodologico la ricerca ha, particolarmente in Italia, messo in evidenza due approcci sostanzialmente differenti:

- un primo, che ha fermato la propria attenzione particolarmente sulle prove di invecchiamento accelerato eseguite dapprima in laboratorio e poi successivamente anche in esterno, per poi affrontare il problema del re-scaling, ovvero del rapporto fra cicli di invecchiamento artificiale ed anni di invecchiamento naturale;
- un secondo, che ha invece inteso partire da una prolungata osservazione degli elementi tecnici in servizio, ovvero su campioni costituiti da edifici reali, mettendo a punto un modello di tipo probabilistico, e che ha

poi utilizzato il laboratorio come attendibile strumento di valutazione relativa, in modo da by-passare in misura sostanziale il problema del re-scaling.

Dopo diversi anni di studio ed i primi esiti delle sperimentazioni, si può affermare che l'Italia ha una sua capacità e possibilità di far sentire la propria voce sull'argomento durabilità con una autonomia ed individualità di pensiero ben distinguibili.

Ed è pensabile che dalla sinergia delle due posizioni, oltre che da quella dei vari gruppi di ricerca che ormai da diversi anni stanno collaborando per raggiungere lo stesso obiettivo, possano nascere risultati di grande interesse scientifico ma anche applicativo.

1.2 Problematiche di durata delle coperture continue

Il sub-sistema che è stato studiato in questi anni dall'unità di ricerca di Napoli è stato quello della chiusura orizzontale superiore, distinguendosi da quella di Palermo - che si è occupata delle coperture discontinue - per la tipologia di coperture.

Si tratta di uno dei componenti complessi (in quanto composto spesso da numerosi materiali) che costituiscono l'involucro esterno, probabilmente quello che dà tradizionalmente i maggiori problemi manutentivi, ma anche quello che presenta le maggiori singolarità sia nei diversi contesti locali che in ciascuno di essi.

Un altro - e non certo l'ultimo - problema che va considerato è quello della "qualità realizzativa", che in questo settore è particolarmente sentito, al punto che resta uno degli ultimi ancora in buona parte affidato ad imprese specializzate, senza le quali spesso i risultati in termini di prestazioni si rivelano alquanto scadenti.

Nel corso dell'analisi dello stato dell'arte sul tema della durabilità delle coperture continue, che ha contemplato sia la letteratura scientifica che l'analisi della normativa nazionale ed internazionale sulle prove di laboratorio, è emerso che - come del resto per molti altri elementi tecnici - esistono molte indicazioni sul singolo prodotto (ad esempio la guaina impermeabile), ma un vero e proprio buco nero sul "pacchetto-copertura", su cui è invece particolarmente interessante indagare in quanto proprio nella varietà di interfacce e nella disomogeneità dei materiali che lo costituiscono si annidano le problematiche che danno luogo a bruschi decadimenti prestazionali ed a morti anticipate.

In realtà non può essere trascurato, anche in questo gruppo di elementi tecnici, che le trasformazioni fisiche che essi subiscono nel corso della posa in opera è determinante per la valutazione delle prestazioni in servizio: prendendo ancora una volta come esempio la guaina bituminosa prefabbricata (non a caso, visto che si tratta dell'elemento tecnico in un certo senso cruciale per la valutazione complessiva delle prestazioni del pacchetto), essa nelle norme viene testata in maniera tale da trascurare la trasformazione che subisce a seguito dell'applicazione a caldo, con gas propano, così come non si valutano le differenze che si manifestano nel tempo in funzione dei differenti sistemi di protezione che attualmente sono in voga, la vernice acrilica piuttosto che le scaglie di ardesia.

Ed ancora: l'articolazione della stratigrafia del pacchetto, la presenza o meno di uno strato coibente, la natura di questo, sono tutti elementi di significativa importanza nella valutazione del ciclo di vita.

E' parso, allora, opportuno, andare un po' oltre il rigore di norme che sono state comunque un doveroso riferimento per quanto riguarda una serie di condizioni da rispettare, ma che non potevano essere utili nella progettazione dei provini da sottoporre ad invecchiamento accelerato, se la finalità ultima delle sperimentazioni in laboratorio era quella di un re-scaling.

In altri termini: in accordo con le altre sedi, il filone di ricerca che prende le mosse dalle prove di invecchiamento accelerato sui vari elementi tecnici, sarebbe poi sfociato in tentativi di re-scaling grazie ad una campionatura da proporre in esterno. Ebbene, se questo in qualche modo doveva rapportarsi anche alla realtà degli edifici, ovvero al comportamento dell'elemento indagato non solo fuori sistema, è parso quanto mai opportuno concepire provini che riproducessero il più possibile situazioni comparabili a quelle dell'elemento in opera.

1.3 Caratteristiche tecnologiche dei provini

Per quanto sopra riferito al paragrafo 1.2, si è pensato di indagare su provini realizzati esattamente come le soluzioni tecniche che si trovano in esercizio.

Si è, perciò, dovuto procedere dapprima ad una sistematica esplorazione di tutte le soluzioni tecniche possibili, in base a quanto riscontrabile sul campo, a seguito delle scelte dei progettisti, senza tener conto delle possibili influenze della tradizione costruttiva locale.

Successivamente, si sono analizzate tali soluzioni, nel tentativo di selezionare quelle che fossero da ritenere più interessanti per lo scopo della ricerca.

A tal fine, è parso opportuno soffermarsi su un numero limitato di campioni, dato che su ciascuno di essi si è pensato di condurre diverse sperimentazioni, in grado di testare diverse prestazioni durante i cicli di invecchiamento artificiale.

La selezione ha evidenziato come più interessanti quattro tipi di soluzioni tecniche nella classe di unità tecnologica in questione, ed esattamente quelle composte secondo le seguenti stratigrafie (dall'alto verso il basso):

a	guaina autoprotetta con scaglie di ardesia
	massetto sottile con cemento e sabbione calcareo
	masso di pendenza con malta cementizia alleggerita con argilla espansa
	solaio latero-cementizio

b	guaina autoprotetta con scaglie di ardesia
	pannello coibente in poliuretano prerivestito di bitume
	massetto sottile con cemento e sabbione calcareo
	masso di pendenza con malta cementizia alleggerita con argilla espansa
	solaio latero-cementizio

c	guaina protetta con vernice acrilica
	massetto sottile con cemento e sabbione calcareo
	masso di pendenza con malta cementizia alleggerita con argilla espansa
	solaio latero-cementizio

d	guaina protetta con vernice acrilica
	pannello coibente in poliuretano prerivestito di bitume
	massetto sottile con cemento e sabbione calcareo
	masso di pendenza con malta cementizia alleggerita con argilla espansa
	solaio latero-cementizio

E' rilevante sottolineare come la scelta non abbia trascurato il fatto che uno degli elementi più interessanti da indagare è il degrado degli strati più superficiali (a partire dalla protezione della guaina) in quanto a sua volta innesco del degrado dei successivi.

1.4 Correlazione fra requisiti, caratteristiche funzionali e soglie prestazionali

La necessità di descrivere gli “stati” che i provini attraversano durante l'invecchiamento indotto, e di codificare quelli ai quali sia da associare una determinata condizione di degrado e dunque di relativo intervento, rende imprescindibile l'individuazione dei requisiti dei diversi elementi e dell'intero pacchetto, così come quella delle specifiche di prestazione.

Gli obiettivi sono in realtà di due tipi:

- descrivere il decadimento prestazionale attraverso una curva (e non già attraverso due punti, quello di nascita e quello di morte dell'elemento), il più possibile vicina alla realtà, che possa – anche, se necessario, per estrapolazione – consentire previsioni sul degrado, programmazione di interventi, progettazioni veramente *maintenance oriented*;
- creare una griglia di legami che possano associare sistematicamente una determinata condizione oggettiva (la prestazione convenzionalmente codificata) ad una soglia temporale, affinché entrambi siano a loro volta associabili ad una tipologia di intervento manutentivo.

L'analisi è stata condotta sulla base della normativa nazionale e internazionale, delle indicazioni dei manuali dei produttori, dell'esperienza sul campo.

Si è dunque pervenuti a quanto – come anticipato – appare indispensabile per la finalizzazione dello studio, individuando quali possano essere indicate come soglie prestazionali che da un lato descrivano sinteticamente il ciclo di vita dell'elemento, e dall'altra rendano possibile il riferimento ad un certo tipo di intervento.

Le prove sono state concepite per indagare requisiti secondo il seguente schema:

PROVA	REQUISITO	ELEMENTO INDAGATO	METODO DI MISURA
pull-off	aderenza	guaina	strumentale
microfotografia	protezione	strato di protezione	a vista
prove UNI EN 12086 (isolanti termici) e UNI 8202 e 8223 (guaina)	permeabilità al vapore μ	Intero pacchetto	strumentale
prova ISO 8301	isolamento termico	Intero pacchetto	strumentale

chiaramente concepito nell'ottica dei criteri su esposti.

1.5 Caratteristiche morfologiche dei provini

Per tutto quanto illustrato al paragrafo 1.2, i provini sono stati progettati secondo criteri in parte diversi da quelli indicati dalla normativa nazionale ed internazionale, predisponendoli esattamente come le soluzioni tecniche che si trovano in esercizio, ovvero esattamente con le stratigrafie riportate al punto 1.3, corrispondenti alle soluzioni tecniche prescelte.

Dal punto di vista morfologico, i provini realizzati – che si è pensato fosse opportuno sottoporre anche a prove di allagamento, visto le peculiarità dei componenti indagati – hanno le seguenti caratteristiche (cfr. figura 1.1):

- dimensioni in pianta 52 x 52 cm.;
- altezza totale 28 cm.;
- struttura portante realizzata con profilati in acciaio ad L 30 x 60 x 5 mm., ad irrigidimento di un piano costituito da due tavelline in laterizio da 3 cm. di spessore (25 x 50 cm.) sul fondo e sulle sponde verticali.

Questa conformazione ha voluto anche tener conto del fatto che nella prassi molti dei problemi manutentivi legati alle coperture continue derivano dalle risvolte perimetrali, e si è allora concepito una configurazione che insieme alla possibilità di poter procedere ad allagamento potesse consentire di realizzare per l'appunto anche tratti di impermeabilizzazione di superfici verticali raccordate con quelle orizzontali.

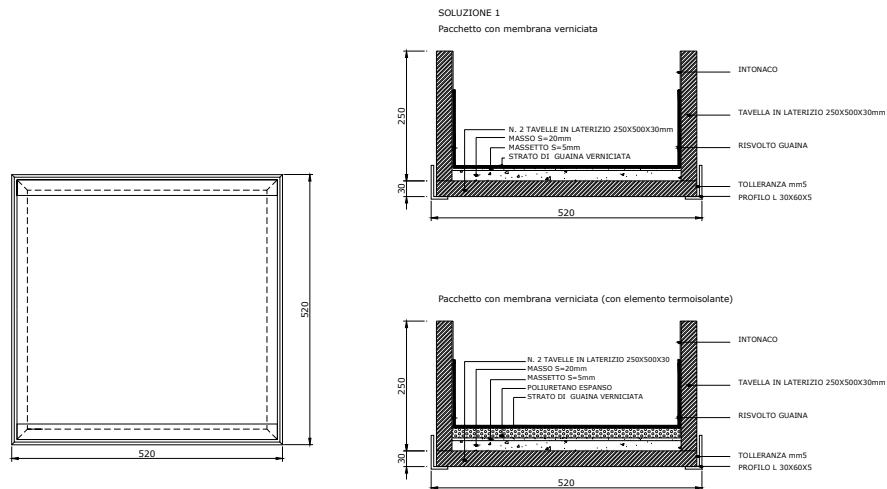
Ovviamente la differenziazione dei diversi provini è stata fatta sulla base delle diversità delle soluzioni tecniche prescelte, fermo restando il masso di pendenza ed il massetto sottile, comuni a tutti.

I provini esposti in esterno sono stati predisposti esattamente con le stesse caratteristiche, in quanto non aveva senso disporli con inclinazioni che accelerassero l'invecchiamento, trattandosi di un componente che ha la sua maggior sollecitazione ortogonale al piano orizzontale.

Gli allagamenti, evidentemente, non sono stati preordinati come nel caso delle prove seguite in laboratorio, ma legati a fenomeni naturali.

FIGURA 1.1

Caratteristiche morfologiche dei provini



1.6 Determinazione del ciclo di prova

L'approccio metodologico che tende a determinare la durata di un elemento tecnico mediante la comparazione fra una prova di invecchiamento artificiale condotta in laboratorio ed una condotta in esterno sullo stesso provino accelerandone l'invecchiamento, non può non porsi il problema della definizione attenta del ciclo di sollecitazione a cui sottoporlo, per potere eseguire un re-scaling minimamente attendibile.

Come più su riferito, in effetti le norme nazionali ed internazionali tratteggiano una serie di criteri per la determinazione del ciclo, lasciando per contro una certa libertà nella sua definizione.

Si è del parere, invece, che il dover pervenire prima o poi – altrimenti sarà possibile eseguire solo prove e studi comparativi, attraverso i quali determinare comportamenti di paragone fra diverse soluzioni dello stesso elemento tecnico – ad un re-scaling, debba influenzare il ciclo di condizionamento, che non può non essere differenziato per i diversi contesti per i quali ci si propone di effettuare il re-scaling.

In altri termini: non appare decisamente possibile considerare attendibile un re-scaling eseguito in contesti climatici anche molto diversi, qualora un provino provenga da sollecitazioni artificiali uguali.

In tal senso, invece, si è operato verso lo studio di un ciclo che sia la riproposizione accelerata di ciò che effettivamente avviene, in maniera differenziata, nei diversi contesti ambientali.

Nell'ambito del progetto di ricerca Prin 2003 le diverse unità di ricerca hanno approfondito problemi e fenomeni legati allo studio di diversi componenti dell'involucro esterno dell'edificio: è apparso logico, allora, cercare di simulare in laboratorio le sollecitazioni ambientali dei diversi

contesti climatici, differenziandoli in maniera da poter avere re-scaling personalizzati.

L'unità di ricerca di Napoli ha perciò proposto alle altre un modello per la determinazione del ciclo di sollecitazione, che è costituito da un algoritmo all'interno del quale i dati di input sono costituiti da alcune variabili climatiche, ottenibili da diverse fonti (l'Aeronautica in primis).

In output si ottengono le durate dei sottocicli (ciascuno dei quali costituisce e simula una stagione climatica), le temperature, l'umidità, l'irraggiamento, l'acqua da pioggia a cui sottoporre il provino.

Si ottiene, così, una sorta di "anno virtuale", composto da quattro stagioni climatiche in successione, con valori differenti di temperatura, umidità, irraggiamento, pioggia, dove i valori da inserire sono quelli della zona e del periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto come riportato nella tabella sottostante:

SOTTOCICLO	SOLLECITAZIONE	VALORE DA INSERIRE
FREDDO	TEMPERATURA	minima assoluta
	UMIDITA'	medio
	IRRAGGIAMENTO	-
	ACQUA	-
CALDO MITE SECCO	TEMPERATURA	massima fra le medie
	UMIDITA'	medio
	IRRAGGIAMENTO	accensione lampada xeno
	ACQUA	-
CALDO INTENSO UMIDO	TEMPERATURA	massima assoluta
	UMIDITA'	95%
	IRRAGGIAMENTO	accensione lampada xeno
	ACQUA	-
PIOGGIA	TEMPERATURA	minima fra le medie
	UMIDITA'	medio
	IRRAGGIAMENTO	-
	ACQUA	spruzzo o allagamento

I dati climatici sono stati preventivamente raccolti, da diverse fonti ufficiali, nell'arco di un periodo non superiore agli ultimi 5 anni, stante la estrema variabilità degli ultimi periodi.

I valori necessari per implementare il modello proposto all'ultimo capitolo secondo i criteri già anticipati sono riportati nella sottostante tabella, che riporta anche le definizioni essenziali:

SOLLECITAZIONE	VALORE DA INSERIRE	DEFINIZIONE
Pioggia	numero di giorni di pioggia in un anno	valore ottenuto dalla media dei valori per ciascun anno
	intensità di pioggia	valore ottenuto dalla media dei valori per ciascun anno
Temperatura	minima assoluta	valore ottenuto dalla media dei valori di minima assoluta
	minima media	valore ottenuto dalla media dei valori mensili, calcolati come media fra i minimi giornalieri, prendendo in considerazione il valore più basso
	massima assoluta	valore ottenuto dalla media dei valori di massima assoluta
	massima media	valore ottenuto dalla media dei valori mensili, calcolati come media fra i massimi giornalieri, prendendo in considerazione il valore più alto
Umidità	umidità relativa	valore ottenuto dalla media dei lavori mensili per ogni anno
Irraggiamento	numero di giorni di sole in un anno	valore ottenuto dalla media dei valori per ciascun anno
	andamento dell'irradiazione solare	valore ottenuto dalla media dei valori per ciascun anno

E' interessante notare, e sarà particolarmente evidente nell'ultimo capitolo, nel quale viene per l'appunto affrontato l'argomento della determinazione del ciclo di sollecitazione in laboratorio, che per le diverse realtà contestuali della penisola italiana esistono valori progressivamente sempre meno differenti in termini di molti di quelli assoluti delle sollecitazioni.

Due esempi per tutti rendono particolarmente chiaro l'assunto:

- per quanto riguarda la temperatura massima non esistono significative differenze fra Milano e Palermo, ma quello che ancora caratterizza i due contesti è il numero di giorni annui nei quali si raggiungono temperature elevate;
- l'intensità di pioggia che si è registrata a Napoli negli ultimi 5 anni ha superato – e non di poco - Milano in alcuni mesi invernali.

Capita, allora, che per realtà contestuali e climatiche anche molto differenti siano determinati sottocicli aventi – ad esempio – temperature uguali: sarà la durata del segmento, ovvero l'insieme delle altre sollecitazioni, a caratterizzare specificamente ciascuno di essi.

L'output finale è costituito, al termine del calcolo per il quale è stato implementato un software specifico, da tabelline sintetiche come quella sotto riportata, ricavata per la città di Napoli:

SOTTOCICLI	DUR.	TEMP.	UMID.	IRRAGG.	ACQUA
<i>FREDDO</i>	6 ore	4 C°	70%	No	No
<i>CALDO MITE SECCO</i>	9 ore	25 C°	60%	Si	No
<i>CALDO INTENSO UMIDO</i>	9 ore	40 C°	95%	Si	No
<i>PIOGGIA</i>	6 ore	10 C°	75%	No	Si

Capitolo 2

La sottoclasse delle coperture continue

2.1 Premessa

La norma UNI 8290 introduce una scomposizione del sistema tecnologico basata su tre livelli¹:

- classi di unità tecnologiche (primo livello)
- unità tecnologiche (secondo livello)
- classi di elementi tecnici (terzo livello)

Le voci dei primi due livelli sono tali da essere le più opportune a rappresentare le funzioni il cui obiettivo è quello di soddisfare le esigenze dell'utenza. Le voci del terzo livello corrispondono a classi di prodotti che attualmente configurano modalità di risposta, complessiva o parziale, alle funzioni delle unità tecnologiche².

L'appendice alla norma fornisce, nel campo dell'edilizia residenziale, la classificazione e l'articolazione delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici nei quali il sistema tecnologico viene scomposto.

Con particolare riferimento alle coperture, la classificazione introdotta è riassumibile come segue: la chiusura, considerata una classe di unità tecnologiche, è scomposta in unità tecnologiche; fra queste, alla voce chiusura superiore, ritroviamo la scomposizione in classi di elementi tecnici, quali le coperture e gli infissi esterni orizzontali. In particolare, si definisce chiusura superiore l'elemento tecnologico, di tipo orizzontale o sub-orizzontale, di separazione dell'interno dell'edificio dall'esterno, e dunque di protezione dall'azione degli agenti esterni, causa di fenomeni di degrado dei componenti dell'organismo edilizio.

Più in generale, gli agenti, considerabili come esplicitazione a livello tecnico dei sistemi di sollecitazioni esercitate sugli oggetti edilizi dalle condizioni ambientali, dalle scelte progettuali e dalle attività degli utenti, oltrechè dall'obsolescenza fisiologica (fattori di natura intrinseca), vengono considerati secondo le seguenti categorie:

¹ Cfr Norma UNI 7867 parte quarta. La norma definisce il sistema tecnologico come segue: insieme strutturato di unità tecnologiche o di elementi tecnici secondo la fase operativa metaprogettuale o progettuale del processo edilizio alla quale ci si riferisce

² Cfr Norma UNI 8290- *Edilizia Residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*

- *agente naturale*: agente dovuto alle condizioni ambientali esterne al sistema edilizio non legate all'intervento dell'uomo.
- *agente artificiale*: agente dovuto alle condizioni ambientali esterne al sistema edilizio modificate dall'intervento dell'uomo.
- *agente dovuto alla concezione degli edifici*: agente indotto da scelte progettuali tipologiche e/o tecnologiche operate per ottenere determinati comportamenti di ambienti e oggetti edilizi.
- *agente dovuto alla utilizzazione degli edifici*: agente indotto dalle attività svolte dagli utenti nell'ambito degli organismi edilizi.

Con riferimento alle coperture, la norma UNI 8088³ cita testualmente: "Per manto di copertura si intende l'insieme degli elementi coprenti e di quella parte della struttura che li sostiene direttamente."

È evidente dunque la funzione protettiva delle coperture nell'ambito dell'organismo edilizio, di formale conclusione del volume e di definizione del rapporto fra cielo e terra. In relazione alla morfologia, le coperture vengono suddivise in base alla loro continuità, nel senso dell'assenza di interruzioni nello strato di tenuta all'acqua, determinando due sottoclassi di elementi: coperture continue e coperture discontinue. In particolare, le caratteristiche dei due modelli determinano le modalità di funzionamento, influenzando geometricamente la forma stessa della copertura.

TABELLA 2.1

Coperture discontinue. Classificazione⁴

Piccoli elementi	Tegole in laterizio
	Tegole in cemento
	Tegole bituminose
	Lastre in fibrocemento
	Lastre in pietra
Grandi elementi	Manti in doghe metalliche
	Lastre metalliche
	Pannelli compositi metallici
	Lastre in fibrocemento
	Lastre in materiale di sintesi

Le coperture discontinue⁵ sono caratterizzate dalla discontinuità dello strato di tenuta all'acqua e dalla pendenza: richiedono una pendenza

³ UNI 8088 - *Lavori inerenti le coperture dei fabbricati. Criteri per la sicurezza*

⁴ G. Alaimo, *L'affidabilità funzionale delle coperture discontinue*, ediTecnica

⁵ UNI 9460/1989 – *Copertura discontinue. Codice di pratica per la progettazione e l'esecuzione di coperture discontinue con tegole di laterizio e cemento* e Norma UNI 10372/1994 – *Coperture discontinue. Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione con elementi metallici in lastre*

minima del piano di posa, dipendente dal clima e dai componenti adottati, allo scopo di realizzare le modalità di scorrimento e smaltimento delle acque meteoriche.

La discontinuità del manto di copertura si ottiene attraverso l'impiego di piccoli e di grandi elementi. Nel primo caso, i piccoli elementi appunto, collocati su appoggi continui o discontinui, in genere vengono utilizzati nell'edilizia residenziale; i grandi elementi vengono generalmente applicati su supporti discontinui (barcarecci in acciaio, travetti in c.a.).

Ciò che caratterizza sostanzialmente la copertura di tipo continuo è, al contrario, la presenza di uno strato di tenuta all'acqua del tutto privo di soluzioni di continuità e composto da materiali impermeabili che garantiscono la presenza di una tenuta in grado di resistere alla penetrazione delle acque meteoriche, responsabili di fenomeni di degrado estremamente dannosi nel tempo.

Questo tipo di copertura può essere facilmente realizzato su superfici piane, non essendo indispensabile una particolare morfologia o pendenza dell'elemento portante, rendendo dunque possibile la creazione di tetti accessibili, tetti giardino, tetti adibiti dunque al transito di persone e veicoli.

Il campo di impiego delle impermeabilizzazioni continue è attualmente esteso, oltre che alle coperture piane, come detto, o di pendenza assai limitata, anche alle coperture "piano inclinate", con pendenze superiori al 5% e alle superfici curve.

In Italia, i manti impermeabili bituminosi rappresentano la soluzione tecnica adottata nel 90% delle coperture continue.

I materiali e le tipologie di prodotto hanno subito nel tempo una sostanziale evoluzione. Alle tecniche basate sull'impiego di materiali di origine naturale (colature di asfalto, bitume distillato o ossidato) ed a quelle multistrato di tipo tradizionale (supporti in feltro alternati a spalmature di catrame o bitume fuso), utilizzate rispettivamente fino agli Anni Cinquanta e Settanta, sono subentrate, a partire dagli Anni Sessanta, le più recenti tecniche di impermeabilizzazione basate sull'impiego di membrane prefabbricate con caratteristiche tecniche superiori garantite dal controllo della qualità in stabilimento, da una maggiore resistenza alle sollecitazioni di tipo meccanico, termico, di proprietà di elasticità e durabilità migliorate e dalla regolarità degli spessori.

Le attuali membrane impermeabilizzanti prefabbricate, del tipo bitume-polimero, sono costituite da una miscela e da un'armatura. La prima è essenzialmente formata da polimeri misti a bitume e additivi; fra i polimeri più diffusamente impiegati figurano: l'APP, polipropilene atattico, che è un polimero del tipo plastomero, e l'SBSW, stirene-butadiene-stirene, che è un polimero del tipo elastomero. In particolare, dalle miscele bitume-plastomero, si ottengono mastici a comportamento prevalentemente plastico; con miscele bitume-elastomero, si ottengono mastici a comportamento eminentemente elastico.

Un terzo tipo di masse impermeabilizzanti bitume-polimero, per la realizzazione delle quali sono impiegati sia plastomeri che elastomeri, risulta caratterizzato da un comportamento misto, elastoplastico: il mastice si

comporta cioè in modo elastico, entro determinati limiti di sollecitazione, oltre i quali assume un comportamento plastico. Con riferimento all'armatura, va precisato che questa viene inserita nella massa impermeabilizzante sostanzialmente per conferire alla membrana le necessarie caratteristiche meccaniche, che da sola non possiede, e distribuire gli sforzi ai quali essa è sottoposta. Le armature più diffusamente impiegate sono quelle minerali e quelle sintetiche, distinte, in questo caso sulla base della natura del prodotto componente.

Nel primo caso, sono fibre di vetro; nel secondo, poliestere, ecc. In relazione alla tipologia, esistono armature in tessuto, che presentano una trama ed un ordito; in "non tessuto", in cui l'armatura non presenta una vera orditura e può essere realizzata secondo tecniche diverse, mediante procedimenti particolari.

Le membrane impermeabilizzanti prefabbricate presentano due facce opposte aventi funzioni diverse. Quella inferiore, gofrata, trattata con uno speciale film termofusibile, viene posta in opera con fiamma a gas propano. L'altra faccia, quella superiore, rivolta verso l'esterno, potrà avere diverse finiture: una leggera talcatura da verniciare successivamente con formulati specifici per manti, autoprotezione con scaglie d'ardesia, di opportuna e controllata granulometria, o metallica con lamina d'alluminio, tessuto, ecc.

La posa in opera delle membrane impermeabilizzanti prefabbricate avviene, come detto, mediante termofusione delle facce inferiori con fiamma a gas propano, prodotta da appositi cannelli. Le più idonee condizioni climatiche per la posa in opera del manto devono prevedere una temperatura esterna superiore a 5°C, onde evitare fenomeni di incapsulamento di ghiaccio o brina fra la membrana e la superficie di posa e successiva evaporazione, durante i periodi più caldi, dell'acqua e del ghiaccio precedentemente inglobato, con il rischio di una eventuale formazione di bolle e tensioni sul manto stesso. Per contro, forti irraggiamenti e temperature particolarmente elevate nei mesi estivi tendono ad ammorbidire la mescola delle membrane.

E' dunque opportuno, in questi casi, operare indossando calzature adatte a pianta larga, senza tacco, evitando di camminare sulla superficie durante l'applicazione della guaina. Con specifico riferimento alle specifiche di posa in opera, va precisato che i teli devono sovrapporsi lungo le giunzioni longitudinali per 8/10 cm e lungo quelle trasversali per 12/15 cm.

2.2 Classificazione delle coperture continue

La copertura può essere classificata in base alla morfologia (coperture continue e discontinue), all'accessibilità, alla geometria, agli strati funzionali impiegati. Come già accennato, l'elemento discriminante che differenzia le coperture continue da quelle discontinue è, oltre all'assenza di elementi di discontinuità in quelle continue, l'elemento "pendenza".

Dal punto di vista funzionale, infatti, una copertura discontinua possiede una pendenza tale da consentire il deflusso delle acque, impedendo il verificarsi di infiltrazioni lungo i punti di discontinuità. Una continua, viceversa, consente l'adozione di pendenze sensibilmente inferiori, in virtù

del carattere stagno dello strato di tenuta. Inutile sottolineare come, dal punto di vista merceologico, la diversità di conformazione comporti l'impiego di materiali provenienti da settori produttivi differenti, con specificità nella messa in opera. Se nelle coperture discontinue infatti l'accento viene posto sulla forte pendenza e sulla sovrapposizione degli elementi (tegole, coppi), in quelle continue, assumono particolare rilievo le modalità di connessione e la protezione dell'elemento di tenuta all'acqua. Le caratteristiche delle due sottoclassi determinano le modalità di funzionamento delle medesime, influenzando in maniera decisiva la forma della copertura, sotto il profilo formale e simbolico, nonché geometrico.

Una significativa classificazione differenzia le coperture, sotto il profilo geometrico appunto ed in base al grado di accessibilità, individuando cinque categorie di coperture continue di seguito riportate:

1. coperture planari orizzontali non accessibili
2. coperture planari suborizzontali accessibili e pedonabili
3. coperture planari inclinate
4. coperture del tipo "giardino pensile"
5. coperture curve.

Si intendono per coperture planari orizzontali non accessibili quelle aventi pendenza inferiore al 5%, pedonabili esclusivamente per scopi manutentivi legati ad azioni di manutenzione della copertura stessa e delle attrezzature impiantistiche ivi localizzate.

I tetti accessibili solo per la manutenzione, non praticabili dunque, non dovendo garantire, con la loro geometria, l'accessibilità a persone, e sopportando pertanto sollecitazioni d'esercizio limitate rispetto ad altri tipi di soluzioni, offrono una gamma di soluzioni, distinte per tipologie di finiture superficiali così sintetizzabili:

- con protezione leggera realizzata con vernici acriliche;
- con autoprotezione (ottenuta attraverso membrane del tipo "autoprotetto" con scaglie di ardesia o con lamina metallica).

Con riferimento alla tipologia di coperture planari suborizzontali, accessibili e pedonabili, si precisa che si intendono per esse quelle aventi una pendenza non inferiore al 5% e caratterizzate da un frequente transito e soggiorno di persone. Si realizza di norma, per questo tipo di impermeabilizzazione, una pavimentazione idonea al predetto transito. I tipi più diffusi di coperture di questo tipo, differenziati per categorie di pavimentazione, sono:

- con pavimentazione gettata in opera di calcestruzzo;
- con pavimentazione ad elementi lapidei;
- con pavimentazione in piastrelle ceramiche;
- con pavimentazione in quadrotte di cemento su supporti mobili.

Si intendono per coperture planari inclinate quelle con pendenza superiore al 5%. L'accessibilità, di grado ridotto per la evidente pendenza, è prevista, anche in questo caso, esclusivamente per scopi manutentivi legati alla manutenzione della copertura e degli impianti ivi localizzati. La pendenza e la forma escludono l'utilizzo di protezioni mobili come la ghiaia. I collegamenti fra gli strati inoltre, non potendo beneficiare dell'effetto zavorra

della protezione, avvengono necessariamente per aderenza o semiaderenza. Nell'ambito delle coperture di questo tipo, individuando sistemi impermeabilizzanti con isolamento termico e privi di esso, si distinguono le seguenti tipologie di impermeabilizzazioni:

- con protezione leggera mediante verniciatura;
- con autoprotezione (realizzata con membrane del tipo "autoprotetto" con scaglie di ardesia o con lamina metallica).

Le coperture curve presentano la superficie dell'estradosso ad andamento curvo più o meno regolare.

Il giardino pensile è, infine, nell'ambito delle soluzioni tecniche di coperture continue, una delle più complesse, per quanto riguarda la realizzazione dell'impermeabilizzazione e dell'isolamento termico. La buona riuscita dipende dalle scelte progettuali con cui ogni dettaglio deve essere previsto e dimensionato. Le membrane prefabbricate bitume-polimero trovano valido impiego anche in questo tipo di applicazione in cui devono offrire, oltre alle tradizionali prestazioni fisico-meccaniche, una resistenza all'azione perforante delle radici della vegetazione presente. A tale proposito, è bene precisare che esistono due tipologie di barriera all'azione meccanica delle radici: la barriera fisica e quella chimica.

La barriera fisica prevede l'inserimento nella membrana impermeabilizzante (durante il processo di fabbricazione per coestrusione) di una lamina metallica o di un film di poliestere che si accoppia all'armatura caratteristica di quel prodotto.

Analogo risultato può essere ottenuto con il solo inserimento di un'armatura in non tessuto di poliestere da filo continuo di alte prestazioni, posizionata nello spessore della membrana.

La barriera chimica presuppone l'additivazione della membrana con speciali sostanze chimiche repellenti che bloccano lo sviluppo e la penetrazione delle radici. Queste sostanze sono particolari composti bilanciati di acidi grassi, fenossici ed esterificati, con forte azione inibitrice, che proteggono i materiali bituminosi senza tuttavia risultare nocivi allo sviluppo della vegetazione.

L'esempio di soluzione tipica e tecnicamente completa del complesso giardino, suddivisa per strati protettivi, è così individuata:

- elemento di supporto, sormontato da uno strato di pendenza;
- membrana impermeabile, a doppio strato;
- elemento di protezione della membrana;
- strato drenante;
- elemento filtrante;
- rete a maglia larga;
- terreno di coltura.

Lo strato di protezione ha il compito di impedire il danneggiamento della membrana ed è realizzato con fogli di polietilene da 0,2 mm e/o di non-tessuto sintetici collocati sul medesimo manto impermeabile.

Lo strato drenante, sovrapposto a quello protettivo, svolge la funzione di raccogliere e far defluire l'acqua in eccesso, dovuta a precipitazioni o piogge prolungate. Da dimensionare in relazione al tipo di piantagione prevista,

esso viene realizzato con della ghiaia tonda di granulometria superiore a 15 mm o, per evitare un carico eccessivo, con della vermiculite, argilla espansa, ecc. Il successivo strato filtrante si rende necessario allo scopo di impedire la penetrazione nello strato drenante delle parti più fini provenienti dal terreno di coltura, posto allo strato sovrastante. Viene realizzato con non-tessuti sintetici (poliestere, polipropilene) imputrescibili.

In relazione agli strati funzionali impiegati e, più precisamente sulla base del posizionamento dell'elemento termoisolante all'interno della soluzione tecnica, si distinguono quattro tipologie di coperture continue:

1. copertura continua non isolata;
2. copertura continua isolata;
3. copertura continua isolata rovescia;
4. copertura continua isolata e ventilata.

Il modello di copertura continua non isolata termicamente è attualmente più rara nei pacchetti funzionali di nuova progettazione, preferendosi l'inserimento di uno strato termoisolante, al di sopra o al di sotto dello strato di tenuta all'acqua, per una serie di vantaggi di varia natura successivamente esplicitati.

La seconda soluzione prevede l'inserimento di uno strato di coibente termico al di sotto dello strato di tenuta all'acqua.

Questo tipo di copertura contribuisce a soddisfare le esigenze di benessere igrotermico, garantendo un idoneo isolamento dagli ambienti sottostanti dall'esterno. Il suddetto modello offre inoltre una efficace protezione del supporto dagli sbalzi termici, migliorandone la durabilità. Con riferimento a questa tipologia di copertura, è opportuno sottolineare che la posizione inferiore dell'elemento termoisolante rispetto allo strato di tenuta, bloccando il flusso di calore proveniente dall'alto, provoca, specie nella stagione estiva, un fenomeno di eccessivo riscaldamento della membrana impermeabile che, durante l'estate appunto, può raggiungere temperature elevate; è auspicabile, in questo caso, verificare il requisito di resistenza a deformazione dello strato di tenuta, preservando inoltre quest'ultimo dall'azione dell'irraggiamento solare mediante l'adozione di uno strato protettivo in vernice acrilica oppure attraverso l'impiego di membrane autoprotette in lamina metallica o in scaglie di ardesia.

La copertura continua isolata rovescia prende il nome dalla inversa posizione dello strato di coibente termico rispetto allo strato di tenuta all'acqua.

Premettendo che questo modello tende ad esercitare una protezione nei confronti della membrana impermeabile che non risulta in tal modo esposta all'azione degli agenti esterni, questa tipologia di copertura consente inoltre la circolazione dell'acqua fino allo strato di tenuta, collaborando, d'estate, al raffrescamento degli ambienti sottostanti, ed evitando il raggiungimento da parte della membrana stessa di elevate temperature nei mesi estivi (la temperatura tende a mantenersi vicina a quella dell'elemento portante, tra i 15° e i 25°, nei mesi temperati).

La funzione di barriera al vapore è inoltre svolta dalla membrana stessa.

La scelta dell'isolante termico è tuttavia subordinata alla individuazione delle caratteristiche dello stesso di basso assorbimento dell'acqua ed inoltre all'adozione di misure di protezione dagli agenti esterni e di limitazione dei rischi di asportazione dello strato isolante in caso di vento mediante una zavorra (i pannelli di isolante sono posati in indipendenza sulla guaina previo posizionamento di fogli di desolidarizzazione, ad esempio, tessuto non tessuto sintetico, che impediscono la sollecitazione della membrana dovute a dilatazioni differenziali degli strati).

Questi tetti possono essere messi in opera utilizzando, come strato di protezione, della ghiaia rotonda lavata su feltro sintetico, posato a sua volta direttamente sullo strato di coibente, oppure quadrotte prefabbricati su supporti mobili oppure una pavimentazione continua in calcestruzzo, o ancora piastrelle ceramiche o lapidee.

La copertura isolata e ventilata, il cosiddetto modello di tetto freddo riferito alle coperture discontinue, trova minore applicazione nel campo delle coperture continue, se non in quelle con elemento portante in legno per motivi di conservazione, ed è caratterizzata dall'inserimento, nella stratificazione funzionale, di uno strato di ventilazione tra lo strato di isolante termico e quello di tenuta all'acqua, a diretto contatto con l'ambiente esterno, in grado di consentire una circolazione d'aria. In estate, infatti, questo tipo di copertura consente la eliminazione del calore in eccesso, favorendo la riduzione delle temperature negli ambienti sottostanti; in inverno, evitando la formazione di condensa nell'elemento termoisolante.

2.3 Gli strati funzionali delle coperture continue

La norma UNI 8089⁶ riporta una esaustiva disamina degli strati funzionali impiegati per la realizzazione delle molteplici soluzioni tecniche relative alle coperture.

E' opportuno precisare come il soddisfacimento dei requisiti, derivanti dalle esigenze degli utenti, sia garantito dalla scelta di strati la cui organizzazione permette diversi schemi di funzionamento.

Si possono distinguere strati principali, con funzioni autonome e spesso responsabili del soddisfacimento di un requisito, e complementari, con funzioni ausiliarie rispetto alla reale funzionalità della copertura.

Gli strati principali hanno la funzione di seguito riportata:

- portante
- tenuta all'acqua
- barriera al vapore
- isolamento termico
- isolamento acustico

gli strati complementari hanno la funzione di:

- imprimitura
- diffusione del vapore
- protezione

⁶ UNI 8089 – *Edilizia. Coperture ed elementi funzionali. Terminologia funzionale*

- collegamento
- separazione o scorrimento
- drenante
- filtrante

Ne consegue che gli strati principali di una copertura di tipo continuo sono così riassumibili:

strato portante: rappresenta la struttura resistente continua supportante il complesso di impermeabilizzazione. Può essere realizzato in calcestruzzo, in elementi cementizi prefabbricati, in legno, in lamiera. E' da tener presente, per l'elemento portante in calcestruzzo, la necessità di dover realizzare un massetto di regolarizzazione e delle pendenze.

strato di tenuta all'acqua: ha lo scopo di resistere all'acqua piovana, impedendo la penetrazione delle acque negli ambienti interni e proteggendo, nel contempo, gli strati della copertura che non devono essere bagnati. Fornisce altresì adeguata resistenza alle sollecitazioni di natura fisica, meccanica e chimica alle quali è sottoposta. In genere, è lo strato direttamente a contatto con l'ambiente esterno, verniciata con specifiche pitture acriliche, salvo nei casi in cui si realizza un tetto di tipo rovescio;

strato di barriera al vapore: la funzione di questo strato è controllare la formazione di condensa negli elementi di copertura sensibili all'umidità, impedendo la migrazione del vapore acqueo (immagazzinato nei materiali impiegati per la costruzione, o proveniente dagli ambienti sottostanti) dall'interno verso l'esterno dell'edificio e scongiurando diminuzioni delle caratteristiche qualitative delle sue caratteristiche termiche e della sua durata. L'impiego della barriera al vapore deve essere valutato in relazione alle condizioni termoigrometriche degli ambienti sottostanti e al tipo di supporto; tuttavia, è sempre consigliabile il suo posizionamento, divenendo addirittura indispensabile sulle coperture di ambienti ad elevata umidità relativa (piscine, saune);

strato termoisolante: garantisce alla copertura i prefissati valori di resistenza termica globale. Esso va opportunamente dimensionato in relazione alle condizioni termiche da mantenere negli ambienti sottostanti. Localizzato superiormente o inferiormente rispetto all'elemento di tenuta, sarà concepito per resistere alle sollecitazioni e ai carichi previsti in relazione al grado di accessibilità della medesima copertura. Data la specificità della destinazione, sono da preferirsi isolanti termici che, alle buone caratteristiche termiche, associno doti di stabilità dimensionale, resistenza alla compressione, non infiammabilità, stabilità nel tempo;

strato di isolamento acustico: lo strato è adottato, rispetto alla destinazione d'uso degli elementi degli ambienti interni, per attenuare la trasmissione delle onde sonore provocate dai rumori aerei o d'impatto. Esso è spesso integrato nello strato di tenuta e può essere raccomandato in funzione dei materiali e della struttura complessiva della copertura;

Gli strati complementari di una copertura di tipo continuo sono così riassumibili:

strato di imprimitura: è adottato per favorire l'adesione di uno strato sovrastante (guaina), modificando i caratteri superficiali di quello inferiore, ed eventualmente agire come antipolvere per quest'ultimo;

strato di diffusione del vapore: ha lo scopo di consentire l'espansione e la diffusione dell'aria e della umidità di cui è impregnato l'isolante, scongiurando l'eventuale instaurarsi di tensioni interne. Serve inoltre a predisporre il piano di posa, livellandolo, per la successiva applicazione del manto impermeabile. Sulle lastre termoisolanti, specificatamente concepite come supporto di manti impermeabili, questo strato viene rapidamente realizzato con la posa di una membrana prefabbricata di almeno 2,5mm di spessore;

strato di protezione: è adottato allo scopo di proteggere l'elemento di tenuta dalle sollecitazioni meccaniche, chimiche e fisiche derivanti dagli agenti atmosferici o comunque conseguenti all'utilizzo della copertura, nonché di preservare il manto dall'azione diretta dei raggi ultravioletti.

Essendo direttamente esposto alle intemperie, cioè costituendo lo strato superficiale della copertura, ne definisce l'aspetto superficiale appunto (cromatico e materico). Viene realizzato con pitture specifiche, secondo le relative prescrizioni;

strato di collegamento: è costituito dall'insieme di elementi e dispositivi utili al fissaggio di più strati contigui. Può essere realizzato attraverso sistemi meccanici di tipo lineare o di tipo puntuale. Nel primo caso, valido per le coperture continue, si ottiene mediante la posa in opera di malte di aderenza o adesivi speciali; nel caso dei dispositivi puntuali: chiodi, viti, si utilizzano per il fissaggio di elementi di coperture discontinue, come nel caso di tegole o coppi, facilmente asportabili dall'azione degli agenti atmosferici (vento, neve);

strato di separazione o scorrimento: impiegato esclusivamente nell'ambito delle coperture continue, tale strato garantisce il controllo delle interazioni tra gli strati continui, consentendone i movimenti differenziali ed evitando eventuali incompatibilità chimiche;

strato drenante: ha la funzione di consentire il rapido scorrimento e successivo raccoglimento delle acque accumulate nelle coperture orizzontali e suborizzontali. Il suo impiego risulta particolarmente indicato nel cosiddetto tetto rovescio, caratterizzato dall'inversa posizione dello strato impermeabilizzante rispetto all'elemento termoisolante, per favorire lo smaltimento delle acque infiltrate fra il coibente e il manto impermeabile, e nel giardino pensile, posizionandolo al di sotto dell'elemento filtrante;

strato filtrante: ha il compito di permettere che lo scorrimento delle acque meteoriche e di trattenere, al contempo, i materiali sottili e la terra contenuti e trasportati di conseguenza dalle acque stesse. E' significativo il caso della soluzione tecnica del giardino pensile, in cui tale strato viene posizionato al di sopra dello strato drenante, ed in quella del tetto rovescio, nella quale è inserito al di sopra dell'elemento isolante.

2.4 Il repertorio delle coperture continue

Si riporta di seguito un repertorio, esaustivo solo in parte, delle stratigrafie delle soluzioni tecniche di coperture continue, più facilmente rilevabili sul territorio nazionale, prescindendo dalle possibili influenze delle tradizioni costruttive locali.

Il repertorio si compone di venti soluzioni tecniche individuate rispettivamente nell'ambito di due categorie di coperture continue distinte per caratteristiche geometriche e grado di accessibilità, così come precedentemente descritte.

Nelle soluzioni riportate, gli elementi discriminanti, riferiti ai soli strati principali, sono:

- la natura della struttura portante;
- la presenza dell'isolamento termico;
- lo strato di finitura esterna.

Con riferimento al tipo di struttura portante, sono state individuate quattro diverse tipologie di supporto: in calcestruzzo e laterizi, con relativo massetto di regolarizzazione e pendenze, in elementi cementizi prefabbricati, in legno, in lamiera grecata, con masso di calcestruzzo e massetto delle pendenze. Le soluzioni risultano essere, in alcuni casi, isolate superiormente o inferiormente. I materiali impiegati per la realizzazione dello strato di coibente termico possono essere: il polistirene espanso estruso, il poliuretano espanso, la lana di vetro.

Riguardo alla posa in opera dello strato di finitura esterna, sul piano tecnologico, esso è variabile in funzione della categoria di copertura (non accessibili, accessibili al transito di persone, inclinate). Nel primo caso, con esclusivo riferimento allo strato di rivestimento, non trattandosi di una tipologia destinata all'accessibilità, il materiale impiegato è la vernice, come protezione leggera; nel caso delle coperture adibite al transito di persone e cose, accessibili dunque, le soluzioni tecniche prevedono l'inserimento di uno strato di pavimentazione, idonea al predetto transito. Le tipologie di pavimentazione più frequenti sono: gettata in opera di calcestruzzo, ad elementi lapidei, in piastrelle ceramiche, in quadrotte di cemento poggiate su supporti mobili.

Per le coperture inclinate, infine, come per quelle non accessibili, sia per la spiccata pendenza, sia per la conseguente inaccessibilità delle soluzioni rientranti in questa categoria, lo strato di finitura esterna viene realizzato esclusivamente con la vernice acrilica protettiva. In particolare, le soluzioni tecniche rientranti in questa tipologia di copertura, poiché esattamente identiche a quelle descritte nella categoria di coperture orizzontali, e cioè alle soluzioni dalla CC1 alla CC4, per quelle con struttura portante in calcestruzzo e laterizi, e dalla CC8 alla CC11, per quelle con struttura portante in legno, non rientrano nelle tabelle relative alla classificazione delle stratigrafie più ricorrenti, di seguito riportate.

Sulla base di quanto premesso, il repertorio di soluzioni tecniche esaminate comprende soluzioni classificabili nei sottogruppi di seguito descritti.

Si precisa che ciascuna soluzione è indicata con una sigla alfanumerica in cui le prime due lettere, CC, comuni a tutte le soluzioni, stanno ad indicare il tipo di copertura analizzata (continua), i numeri rappresentano le diverse soluzioni progressivamente esaminate.

Dalla CC1 alla CC4, l'elemento portante è previsto in calcestruzzo e laterizi, con massetto di regolarizzazione e pendenze alleggerito con argilla, con pendenza non inferiore al 5%. In particolare, la prima presenta all'estradosso la membrana, a doppio strato, rivestita di uno strato di vernice acrilica; la seconda, CC2, differisce dalla precedente per la tipologia di membrana impiegata all'estradosso, trattandosi in questo caso di una membrana autoprotetta, del tipo ardesiata, al di sotto della quale è posizionata una membrana con funzione di "camera di diffusione". La CC3, variante della CC1, prevede uno strato di isolamento termico e l'inserimento, tra lo strato di coibente e quello di membrana, doppio strato, verniciata, di uno strato di membrana come strato di diffusione del vapore. La CC4 infine è una variante della CC2, ma isolata termicamente: dopo il *primer* si è inserito un pannello coibente realizzato in polistirene espanso estruso, ricoperto da uno strato di diffusione del vapore, ottenuto con una membrana in velovetro.

Le soluzioni dalla CC5 alla CC7 presentano una struttura portante ad elementi cementizi prefabbricati; in particolare la prima rappresenta la variante alla CC1, fatta eccezione per il supporto e per l'impiego di *pontage* di membrana, posizionati in corrispondenza delle giunzioni fra gli elementi, al fine di assicurare un supporto uniforme. La CC6 rappresenta la variante alla CC5 ma isolata inferiormente, con barriera al vapore. Si prevede infatti l'inserimento, fra il *primer* e la membrana, a doppio strato, di uno strato di membrana avente la funzione di barriera al vapore (con relativi *pontage*) e di un pannello di polistirene espanso estruso, avente la funzione di isolante termico. La CC7 è la variante della CC2, con la differenza della struttura portante in elementi cementizi prefabbricati.

Le soluzioni dalla CC8 alla CC11 presentano una struttura portante in legno. La prima realizzata con membrana autoprotetta. La seconda, come variante della prima, isolata termicamente, con l'inserimento, tra il *primer* e la membrana, di uno strato di coibente termico. E' da notare come questa soluzione presenti inoltre, fra il coibente e l'autoprotetta, uno strato di membrana, con funzioni di "camera di diffusione" dell'aria e dell'umidità di cui è impregnato l'isolante, che consente una migliore realizzazione di un manto autoprotetto. La soluzione CC10 realizza la tenuta all'acqua con una membrana, a doppio strato, verniciata, posata su uno strato di *primer*. La CC11, è la variante alla CC10, con la sola differenza dell'inserimento tra il massetto e la membrana di un pannello coibente in polistirene espanso estruso, direttamente incollato sul massetto stesso. Presentano una struttura portante in lamiera grecata e calcestruzzo, le soluzioni dalla CC12 alla CC15. La prima in cui la tenuta all'acqua è realizzata con una membrana verniciata (a doppio strato). La CC13 in cui lo strato di tenuta si ottiene posizionando una membrana autoprotetta su uno strato di diffusione del

vapore. La CC14 è una variante della CC12 ma isolata inferiormente, così come la CC15, è variante della CC13 ma inferiormente isolata.

Nell'ambito delle soluzioni tecniche individuate per le coperture orizzontali, pedonabili, accessibili, tutte quelle esaminate, dalla CC16 alla CC20, presentano una struttura portante in calcestruzzo e laterizi, con massetto di regolarizzazione e pendenze alleggerito con argilla, con pendenza non inferiore all'5%. L'elemento discriminante per tutte le soluzioni, fatta eccezione per la CC20, è lo strato di rivestimento, o meglio, il materiale, e il relativo strato di allettamento, con cui esso è realizzato; tutti pacchetti hanno in comune lo strato di fissativo del manto impermeabile e lo strato di tenuta all'acqua, al di sopra del quale è posizionato un film di polietilene avente la funzione di protezione dello strato di tenuta (ad eccezione della CC19). La CC16 presenta come rivestimento una pavimentazione lapidea su malta di allettamento; la CC17, una pavimentazione continua in calcestruzzo su uno strato di sabbia; la CC18, uno strato di rivestimento realizzato con piastrelle ceramiche, posate su malta di allettamento; la CC19, è isolata superiormente (tetto rovescio), nel senso che lo strato di tenuta all'acqua è sormontato da un pannello di coibente termico in polistirene espanso estruso, mentre lo strato di rivestimento esterno è realizzato con quadrotte di cemento posate a secco su sostegni mobili, a loro volta poggiati su un "non tessuto" sintetico polipropilenico, o in poliestere. La CC20, infine, costituisce una esemplificazione di tetto giardino, una soluzione a sé rispetto a quelle finora esaminate, e ampiamente descritta nel paragrafo 2.2.

Gli elementi distintivi di questo tipo di soluzione sono riconducibili innanzitutto all'utilizzo di una membrana impermeabile del tipo antiradici, in grado di resistere alle sollecitazioni indotte dagli apparati radicali di piante ed arbusti; all'impiego di uno strato drenante in ghiaia e di uno filtrante in poliestere: il primo con il compito di raccogliere e far defluire l'acqua in eccesso, dovuta a precipitazioni intense e prolungate; quello filtrante con lo scopo di impedire la penetrazione nello strato drenante delle parti più sottili provenienti dal sovrastante strato del terreno di coltura. L'ultimo strato è infine quello di coltura, spesso realizzato con terreno misto a torba, sterco di bovino, sostanze porose, quali granuli di argilla espansa di lava o di pomice. Al vantaggio di carichi notevolmente inferiori e di equilibrato bilancio aria-acqua e buon accumulo di sostanze nutritive, si affianca l'inconveniente legato alla scarsa stabilità, in questi strati così leggeri, di alcuni tipi di piante. Si ovvia, in tal caso, inserendo, nello strato di coltura una rete a maglia larga.

TABELLA 2.2
Coperture orizzontali non accessibili – Classificazione delle stratigrafie più ricorrenti

	A	B	C	D	E	F
	Struttura portante	Fissativo per manto impermeabile	Barriera al vapore/ Elemento termoisolante	Strato di diffusione del vapore	Strato di tenuta all'acqua	Strato di protezione del manto impermeabile
CC1	Cls/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso			Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica
CC2	Cls/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso		Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
CC3	Cls/Massetto pendenze		Polistirene espanso estruso (incollato)		Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica
CC4	Cls/Massetto pendenze		Polistirene espanso estruso (incollato)	Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
CC5	Elem. cementizi prefabbricati/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso			Membrana impermeabile (doppio strato) <i>Pontage</i> di membrana	Vernice acrilica
CC6	Elem. cementizi prefabbricati/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso	Membrana impermeabile/ <i>Pontage</i> di membrana/ Polistirene espanso		Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica

			estruso			
CC7	Elem. cementizi prefabbricati/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso		Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
CC8	Legno/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso		Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
CC9	Legno/Massetto pendenze		Polistirene espanso estruso (incollato)	Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
CC10	Legno/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso			Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica
CC11	Legno/Massetto pendenze		Polistirene espanso estruso (incollato)		Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica
CC12	Lamiera/Masso/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso			Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica
CC13	Lamiera/Masso/Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso		Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
CC14	Lamiera/Masso/Massetto pendenze		Polistirene esp. estruso (incollato)		Membrana impermeabile (doppio strato)	Vernice acrilica

CC15	Lamiera/Masso/Massetto pendenze		Polistirene esp. estruso (incollato)	Membrana impermeabile	Membrana impermeabile autoprotetta	
-------------	---------------------------------	--	--------------------------------------	-----------------------	------------------------------------	--

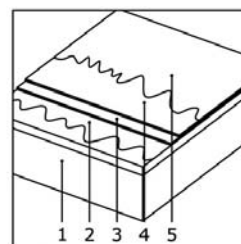
TABELLA 2.3
Coperture orizzontali non accessibili – Classificazione delle stratigrafie più ricorrenti

	A	B	C	D	E	F
CC	Struttura portante	Fissativo per manto impermeabile	Strato di tenuta all'acqua/Strato di protezione	Elemento termoisolante	Strato drenante/Strato filtrante	Strato di rivestimento/Strato di coltura
CC16	Cls/ Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso	Membrana impermeabile/ Film di polietilene			Pavimentazioni lapidee (su malta di allettamento)
CC17	Cls/ Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso	Membrana impermeabile/ Film di polietilene			Pavimentazione continua in calcestruzzo (su uno strato di sabbia)
CC18	Cls/ Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso	Membrana impermeabile/ Film di polietilene			Piastrelle ceramiche (su malta di allettamento)
CC19	Cls/ Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso	Membrana impermeabile	Polistirene espanso estruso		Quadrotte di cemento su supporti mobili (appoggiate su uno strato di non tessuto sintetico)
CC20	Cls/ Massetto pendenze	<i>Primer</i> bituminoso	Membrana impermeabile/ Film di polietilene		Ghiaia/ Poliestere	Doppio strato di terreno intervallato da rete a maglia larga

Fig. 1 - Caratteristiche tecnologiche e geometriche delle soluzioni tecniche esaminate

1. Tetto orizzontale su struttura in cls con membrana verniciata

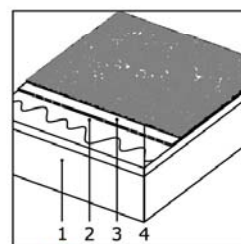
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Vernice acrilica	—



CC1

2. Tetto orizzontale su struttura in cls con membrana autoprotetta

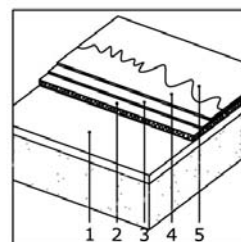
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC2

3. Tetto orizzontale su struttura in cls isolato con membrana verniciata

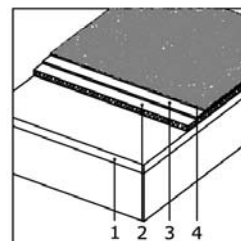
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
3) Membrana bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana bitume-polimero	0.4 cm
5) Vernice acrilica	—



CC3

4. Tetto orizzontale su struttura in cls isolato con membrana autoprotetta

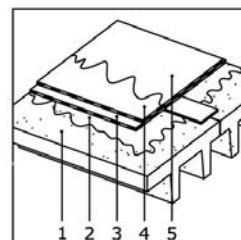
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC4

5. Tetto orizzontale su struttura in elementi cementizi prefabbricati con membrana verniciata

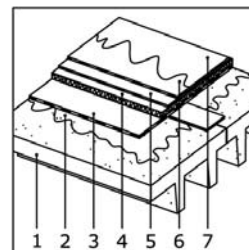
1) Struttura in elementi cementizi prefabbricati	30.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero (pontage)	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Vernice acrilica	—



CC5

6. Tetto orizzontale su struttura in elementi cementizi prefabbricati isolato con membrana verniciata

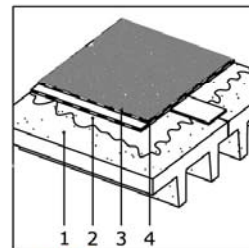
1) Struttura in elementi cementizi prefabbricati	30.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana bitume-polimero (pontage)	0.4 cm
4) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
5) Membrana bitume-polimero	0.4 cm
6) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
7) Vernice acrilica	—



CC6

7. Tetto orizzontale su struttura in elementi cementizi prefabbricati con membrana autoprotetta

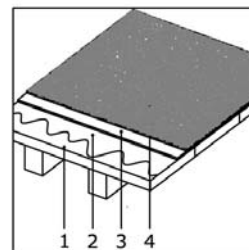
1) Struttura in elementi cementizi prefabbricati	30.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero (pontage)	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC7

8. Tetto orizzontale su struttura in legno con membrana autoprotetta

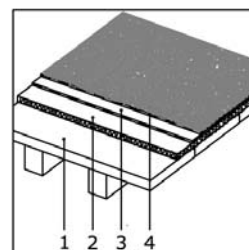
1) Struttura portante in legno	20.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC8

9. Tetto orizzontale su struttura in legno isolato con membrana autoprotetta

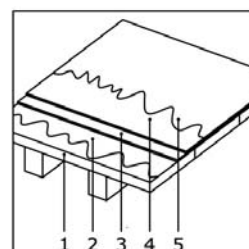
1) Struttura portante in legno	20.0 cm
2) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC9

10. Tetto orizzontale su struttura in legno con membrana verniciata

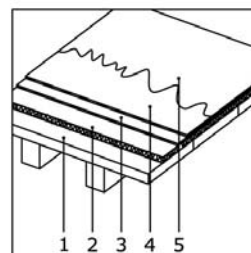
1) Struttura portante in legno	20.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Vernice acrilica	—



CC10

11. Tetto orizzontale su struttura in legno isolato
con membrana verniciata

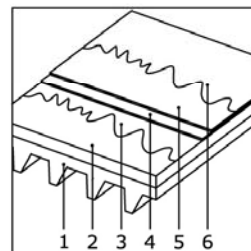
1) Struttura portante in legno	20.0 cm
2) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Vernice acrilica	—



CC11

12. Tetto orizzontale su struttura in lamiera
con membrana verniciata

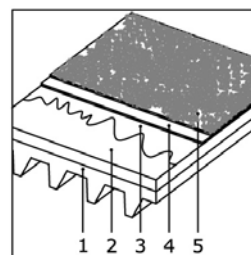
1) Struttura portante in lamiera e cls	15.0 cm
2) Massetto pendenze	4.0 cm
3) Primer	—
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
6) Vernice acrilica	—



CC12

13. Tetto orizzontale su struttura in lamiera
con membrana autoprotetta

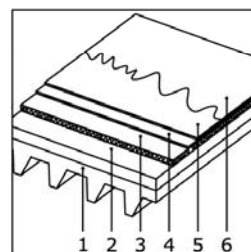
1) Struttura portante in lamiera e cls	15.0 cm
2) Massetto pendenze	4.0 cm
3) Primer	—
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC13

14. Tetto orizzontale su struttura in lamiera isolato
con vernice acrilica

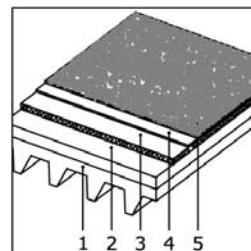
1) Struttura portante in lamiera e cls	15.0 cm
2) Massetto pendenze	4.0 cm
3) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
6) Vernice acrilica	—



CC14

15. Tetto orizzontale su struttura in lamiera isolato
con membrana autoprotetta

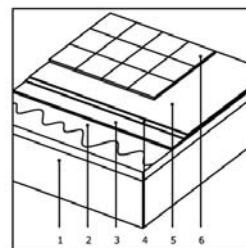
1) Struttura portante in lamiera e cls	15.0 cm
2) Massetto pendenze	4.0 cm
3) Pannello in polistirene espanso estruso	4.0 cm
4) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
5) Membrana in bitume-polimero ardesiata	0.8 cm



CC15

16. Tetto orizzontale su struttura in cls con pavimento lapideo

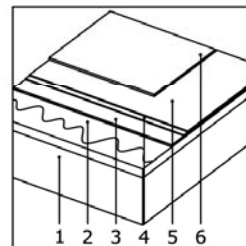
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Film di polietilene	0.02 cm
5) Malta di allettamento	1.0 cm
6) Pavimentazioni lapidee	1.0 cm



CC16

17. Tetto orizzontale su struttura in cls con pavimento continuo

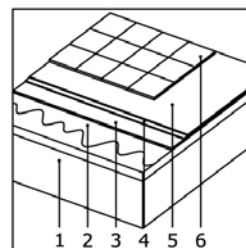
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Film di polietilene	0.02 cm
5) Sabbia	1.0 cm
6) Pavimentazione continua in calcestruzzo	1.0 cm



CC17

18. Tetto orizzontale su struttura in cls con pavimento in piastrelle

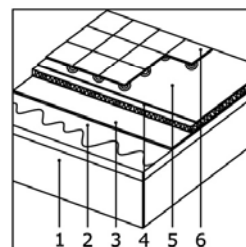
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Film di polietilene	0.02 cm
5) Malta di allettamento	1.0 cm
6) Piastrelle ceramiche	1.0 cm



CC18

19. Tetto rovescio su struttura in cls con pavimento in quadrotte di cemento

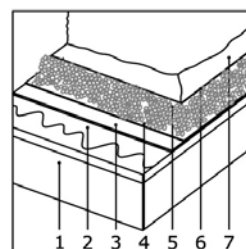
1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero	0.4 cm
4) Pannello in poliuretano espanso estruso	4.0 cm
5) Non-tessuto sintetico	0.25 cm
6) Quadrotte di cemento su supporti mobili	1.0 cm



CC19

20. Tetto giardino

1) Struttura portante in calcestruzzo e laterizi	25.0 cm
2) Primer	—
3) Membrana in bitume-polimero antiradici	0.4 cm
4) Film di polietilene	0.02 cm
5) Strato drenante in ghiaia	5.0 cm
6) Non-tessuto sintetico	0.25 cm
7) Doppio strato di terreno intervallato da rete	20.0 cm



CC20

Capitolo 3

Requisiti e prestazioni delle coperture continue

La trattazione dei requisiti e delle prestazioni delle coperture sarà affrontata con particolare riferimento al caso delle coperture continue oggetto del presente studio. La correlazione tra il complesso delle principali esigenze e delle classi di requisito attese relative, nel caso più generale, ad un sistema di copertura è riportata nella tabella n.1.

TABELLA 3.1

Correlazione tra esigenze e classi di requisito

ESIGENZA	CLASSE DI REQUISITO	DEFINIZIONE
BENESSERE	Tenuta all'acqua	<i>Impedire la penetrazione dell'acqua dalla copertura dell'edificio</i>
	Controllo della trasmissione del calore	<i>Impedire l'eccessivo scambio termico tra l'interno dell'edificio e l'ambiente esterno</i>
	Controllo della condensazione interstiziale	<i>Impedire la condensazione del vapore d'acqua all'interno del sistema di copertura controllando la diffusione del vapore e i moti convettivi</i>
	Controllo del rumore	<i>La minimizzazione del rumore generato dall'esposizione della copertura all'ambiente esterno, o il controllo del rumore attraverso la copertura dall'ambiente esterno</i>
SICUREZZA	Resistenza ai carichi	<i>La capacità del sistema di copertura di sostenere i carichi permanenti e accidentali nel corso delle condizioni normalmente attese in servizio</i>
GESTIONE	Manutenibilità	<i>La capacità a lungo termine di avere il sistema di copertura efficacemente ed economicamente riparato quando danneggiato per effetto degli agenti ambientali o nel caso di rotture verificatesi per effetto di condizioni di servizio non attese</i>
	Salute e sicurezza	<i>impedire di esporre a rischi per la salute e la sicurezza gli operai addetti ai lavori concernenti il sistema di copertura e gli utenti dell'edificio</i>

	Impatto ambientale	<i>Impedire un eccessivo danno all'ambiente sia durante la posa in opera che in servizio</i>
	Aspetto	<i>Conservazione dell'aspetto estetico della copertura nel corso della vita di servizio, quando sia progettata per rispondere a requisiti estetici</i>

Ciascun requisito è stato relazionato alla classe di requisito e all'esigenza che lo pone in essere, come sinteticamente indicato nella tabella n.2 relativamente all'esigenza benessere e agli strati funzionali principali di una copertura continua.

Nei paragrafi seguenti, relativamente ai principali requisiti caratterizzanti gli strati funzionali dei tipi di copertura esaminati, saranno indicate:

- la definizione;
- le grandezze attraverso le quali misurarne le prestazioni espresse in unità fisico tecniche;
- la normativa di riferimento.

Le procedure di prova esaminate sono quelle alle quali sottoporre i provini prima, durante e dopo il condizionamento al fine di quantificare gli eventuali decadimenti prestazionali e, come sarà in seguito meglio chiarito, costruire le curve prestazioni – tempo, per ciascuna delle prestazioni indagate.

TABELLA 3.2

Correlazione tra l'esigenza di benessere e i principali requisiti attesi

ESIGENZA	CLASSE DI REQUISITO	Definizione	Strato funzionale	CLASSE DI REQUISITO	REQUISITI ATTESI	PRESTAZIONI DETERMINABILI CON I METODI DI PROVA
BENESSERE	Tenuta all'acqua	Impedire la penetrazione dell'acqua dalla copertura dell'edificio	Elemento di tenuta	Resistenza ad azioni di natura meccanica	proprietà a trazione resistenza all'urto resistenza al carico statico resistenza alla lacerazione resistenza alla penetr. delle radici adesione interlaminare resistenza al sollevamento in opera (uplift resistance)	UNI EN 12311-1:2002 UNI EN 12691:2002 UNI EN 12730:2002 UNI EN 12310-1:2001 UNI EN 13948:2001 ASTM E 907 – 96
				Resistenza ad azioni di natura termica	flessibilità a freddo stabilità dimensionale stabilità dimensionale in condizioni cicliche di temperatura scorrimento a caldo stabilità di forma a caldo dilatazione termica differenziale coefficiente di dilatazione termica lineare piegabilità a basse temperature	UNI EN 1109:2002 UNI EN 1107-1:2002 UNI EN 1108:2002 UNI EN 1110 UNI 8202-18 UNI 8202-19 UNI 8202-20 UNI EN 495-5:2002

ESIGENZA	CLASSE DI REQUISITO	definizione	Strato funzionale	CLASSE DI REQUISITO	REQUISITI ATTESI	PRESTAZIONI DETERMINABILI CON I METODI DI PROVA
BENESSERE	Tenuta all'acqua	Impedire la penetrazione dell'acqua dalla copertura dell'edificio	Elemento di tenuta	Resistenza ad azioni varie	tenuta all'acqua tenuta all'acqua dopo allungam. resistenza azione perf. radici resistenza al fuoco esterno reazione al fuoco invecchiamento termico in acqua trasmissione del vapore d'acqua resistenza alla grandine	UNI EN 1928:2002 UNI EN 13897:2005 UNI8202-24:1988 prEN 13501-5:2002 prEN 13501-1:2002 UNI 8202-27: 1988 UNI EN 1931:2002 UNI EN 13583:2003
				Durabilità	Comportamento all' invecchiamento artificiale invecchiamento termico in acqua	UNI EN 1296: 2005 UNI EN 1297: 2005 UNI8202-27:1982
	Comportamento delle giunzioni				resistenza a trazione impermeabilità all'aria resistenza a fatica resistenza all'invecchiament. termico resistenza alla spellatura resistenza a taglio	UNI EN 12316-1:2002 UNI 8202-31:1988 UNI 8202-32:1988 UNI 8202-34: 1988 UNI EN 12316-1:2002 UNI EN 12317-1:2002
			di prot.		adesione dell'autoprotezione minerale adesione dei granuli	UNI8202-35 UNI EN 12039:2001

ESIGENZA	CLASSE DI REQUISITO	definizione	Strato funzionale	CLASSE DI REQUISITO	CLASSE DI REQUISITO	PRESTAZIONI DETERMINABILI CON I METODI DI PROVA
BENESSERE	Controllo della trasmissione del calore	<i>Impedire l'eccessivo scambio termico tra l'interno dell'edificio e l'ambiente esterno</i>	Elemento termoisolante	Resistenza ad azioni di natura meccanica	comportamento alla flessione comportamento al taglio comportamento sotto carico concentrato comportamento sotto carico ciclico	UNI EN 12089:1999 UNI EN 12090:1999 UNI EN 12430:2000 UNI EN 13793:2004
				Resistenza ad azioni di natura termica	stabilità dimensionale deformazione in condizioni specificate di carico di compressione e temperatura	UNI EN 1604: 1999 UNI EN 1605: 1999
				Resistenza ad azioni varie	trasmissione del vapore acqueo assorb. d'acqua per immersione assorb. d'acqua per diffusione resistenza al gelo- disgelo	UNI EN 12086: 1999 UNI EN 12087: 1999 UNI EN 12088: 1999 UNI EN 12091: 1999
				Resistenza ad azioni di natura termica	stabilità dimensionale deformazione in condizioni specificate di carico di compressione e temperatura	UNI EN 1604: 1999 UNI EN 1605: 1999
			di separaz. e/o scorrimen.			

3.1 Resistenza ad azioni di natura meccanica⁷

3.1.1 Resistenza a trazione della membrana

Definizione: la capacità della membrana di resistere ai carichi di trazione

Definizioni correlate:

forza di trazione massima: valore più alto della forza a trazione risultante durante la prova

allungamento alla forza di trazione massima: allungamento del provino risultante dalla forza di trazione massima (espresso come una percentuale della distanza iniziale tra i morsetti della macchina di prova)

metodo di prova: UNI EN 12311-1 *Determinazione delle proprietà a trazione*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

grandezze misurate: carico al limite elastico, carico allo snervamento, carico di rottura, allungamento

Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Resistenza a trazione	Carico di rottura longitudinale	daN/50mm	UNI EN 12311-1
	Carico di rottura trasversale	daN/50mm	UNI EN 12311-1
	Allungamento a carico max longitudinale	%	UNI EN 12311-1
	Allungamento a carico max trasversale	%	UNI EN 12311-1

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Il valore di carico di rottura longitudinale e/o trasversale adottato è pari alla media dei valori esibiti da 5 provini per ciascuna direzione, arrotondato ai più vicini 5N.

Analogamente per i valori di allungamento a rottura, che però sono arrotondati all'1% più vicino.

⁷ UNI 8629-1 Membrane per impermeabilizzazione di coperture. Caratteristiche prestazionali e loro significatività

3.1.2 Resistenza alla trazione delle giunzioni

Definizione: forza massima richiesta per provocare, tramite trazione su un provino, una rottura o una separazione completa della giunzione

metodo di prova: UNI EN 12317 Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture. Determinazione della resistenza alla trazione delle giunzioni

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

grandezze misurate: carico di rottura

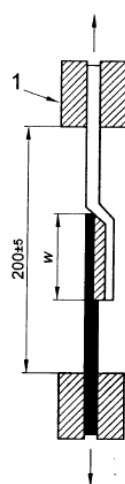
Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Resistenza a trazione delle giunzioni	Carico di rottura	daN/50mm	UNI EN 12317

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Un provino di un giunto viene sottoposto a trazione a velocità costante fino a rottura o separazione completa della giunzione (si veda fig. n.1). La forza di trazione applicata è registrata in continuo. La resistenza alla trazione della giunzione è assunta pari alla media delle forze massime esibite da 5 provini registrate durante ciascuna prova espresse in N/50mm.

FIGURA 3.1

Prova di resistenza dei giunti alla trazione (fonte: UNI EN 12316: 12316-1)



LEGENDA

1 morsetto

w larghezza della giunzione

dimensioni in mm

3.1.3 Resistenza al distacco delle giunzioni

Definizione: forza massima richiesta per provocare, tramite trazione su un provino, una rottura o una spellatura del provino di giunzione

Definizioni correlate:

Resistenza a spellatura: forza di trazione necessaria per separare completamente mediante spellatura il provino di giunzione

Resistenza media a spellatura: valore medio della resistenza a spellatura calcolato escludendo il primo e l'ultimo quarto dei dati registrati. Il valore medio della resistenza a spellatura è calcolata nella rimanente sezione considerando 10 valori equidistanti.

metodo di prova: UNI EN 12316 *Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture. Determinazione della resistenza al distacco delle giunzioni*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

grandezze misurate: Forza di trazione che provoca il distacco

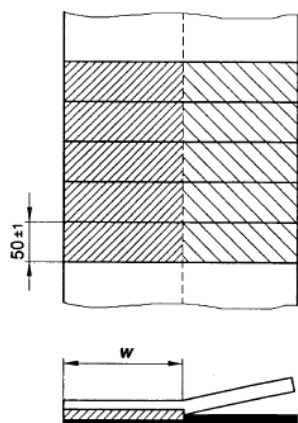
Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Resistenza al distacco delle giunzioni	Resistenza a spellatura del provino	daN/50mm	UNI EN 12316

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Un provino di giunzione è tirato a velocità costante fino alla completa separazione. La forza di trazione applicata è registrata in continuo. La resistenza al distacco della giunzione è assunta pari alla media dei valori massimi di spellatura esibiti da 5 provini (registrati durante ciascuna prova ed espressi in N/50mm) arrotondata ai 5 N più vicini.

FIGURA 3.2

Preparazione del provino (fonte: UNI EN 12316-1)



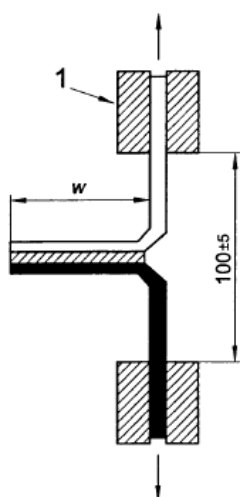
LEGENDA

w larghezza della giunzione

dimensioni in mm

FIGURA 3.3

Prova di spellatura laterale e di testa (fonte: UNI EN 12316: 12316-1)



LEGENDA

1 morsetto

w larghezza della giunzione

dimensioni in mm

3.1.4 Resistenza a flessione dell'isolante termico

Definizione: la capacità dei prodotti isolanti di resistere alla flessione e valutazione della loro freccia per un determinato carico.

Definizioni correlate:

resistenza alla flessione, σ_b : Sollecitazione massima calcolata per la forza massima F_m registrata durante il procedimento di prova a flessione.

sollecitazione alla flessione, σ_x : Sollecitazione calcolata per la forza F_x alla freccia X

freccia, X : Spostamento verticale del provino a metà della luce, sotto la forza F_x , misurata in corrispondenza del punto di carico.

metodo di prova: UNI EN 12089 - *Isolanti termici per edilizia Determinazione del comportamento alla flessione*

Esigenza correlata: sicurezza

Classe di requisito correlato: resistenza ai carichi

grandezze misurate: resistenza alla flessione, sollecitazione alla flessione, freccia.

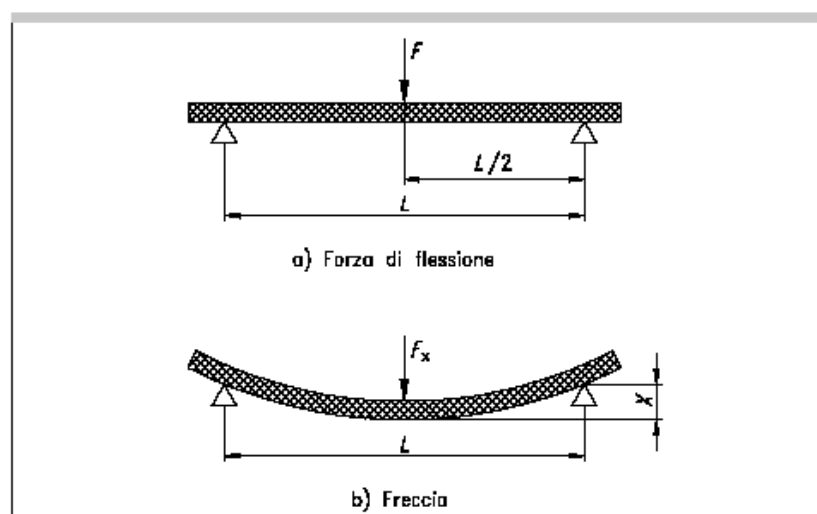
Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Resistenza a trazione	resistenza alla flessione, σ_b	KPa	UNI EN 12311-1
	sollecitazione alla flessione, σ_x	KPa	UNI EN 12311-1
	freccia, X :	mm	UNI EN 12311-1

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Il metodo di prova consiste nell'applicare, a una data velocità, una forza mediante un coltello in direzione assiale rispetto alle facce di un provino rettangolare, tagliato ortogonalmente e posto su due appoggi. La forza è applicata al provino in posizione centrale tra le posizioni degli appoggi (si veda figura n. 4).

FIGURA 3.4

Principio del metodo di prova (fonte: UNI EN 12098: 1999)



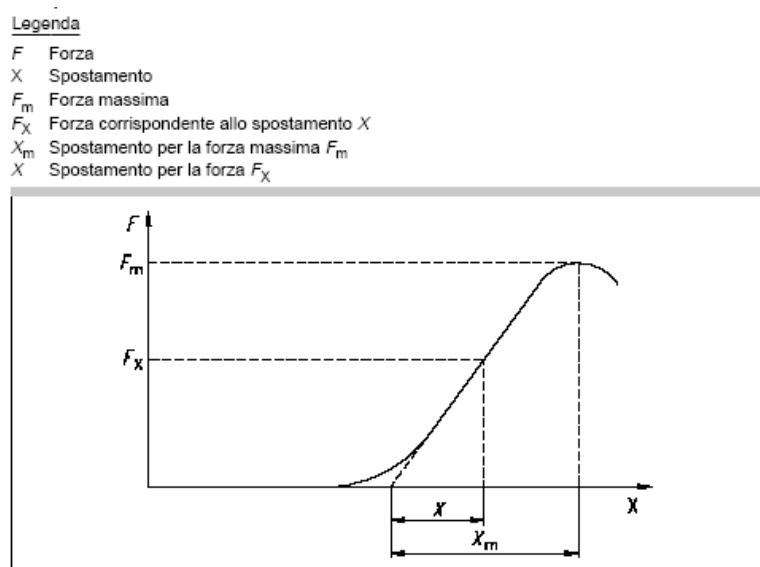
La prova viene effettuata su un numero minimo di 3 provini opportunamente condizionati (la metodologia del condizionamento è definita dalla norma).

I risultati della prova consistono nella determinazione di:

- 1) tutti i valori singoli della resistenza a flessione e la corrispondente freccia o la sollecitazione alla flessione a una data freccia o la freccia corrispondente a un dato carico e i valori medi;
- 2) tutte le curve forza-freccia.

FIGURA 3.5

Esempio di curva forza – freccia (fonte: UNI EN 12098: 1999)



3.2 Resistenza ad azioni di natura termica⁸

3.2.1 Flessibilità a freddo della membrana

Definizione: capacità del provino del campione di membrana bituminosa di essere piegato sotto specificate condizioni senza rompersi

Definizioni correlate:

temperatura di flessibilità a freddo: temperatura minima alla quale il provino di membrana bituminosa può essere piegato intorno ad uno specifico mandrino senza rompersi.

⁸ UNI 8629-1 31/01/92 Membrane per impermeabilizzazione di coperture. Caratteristiche prestazionali e loro significatività.

metodo di prova: UNI EN 1109:2002 - *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione della flessibilità a freddo*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

Grandezze misurate: temperatura di flessibilità a freddo della faccia superiore e inferiore

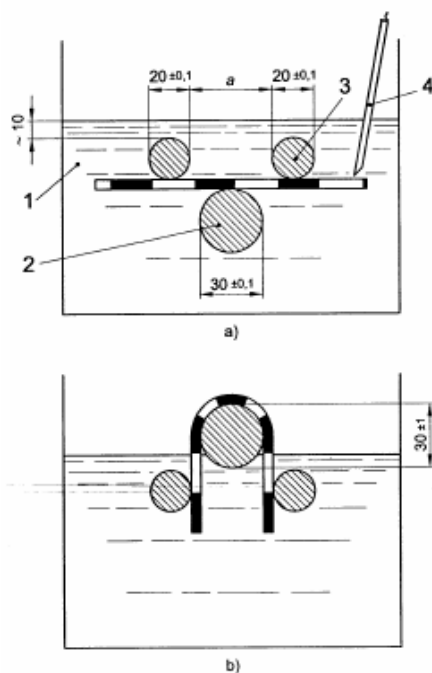
Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Flessibilità a freddo	temperatura di flessibilità a freddo della faccia superiore	°C	UNI EN 1109:2002
	temperatura di flessibilità a freddo della faccia inferiore	°C	UNI EN 1109:2002

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Il valore di temperatura di flessibilità a freddo della faccia superiore e/o inferiore adottato è pari al valore al quale 4, dei 5 provini che occorre considerare, non presentano rotture sulla faccia sottoposta a prova della membrana (si veda fig. n.6).

FIGURA 3.6

Principio dell'apparecchiatura di prova e del processo di piegatura (fonte: UNI EN 1109)



LEGENDA

- 1 liquido refrigerante
- 2 mandrino
- 3 cilindro fisso
- 4 sensore del termometro
- a) inizio piegatura
- b) fine piegatura

3.2.2 Stabilità dimensionale della membrana

Definizione: capacità del provino del campione di membrana bituminosa di non subire grosse variazioni dimensionali

Definizioni correlate:

variazione dimensionale: variazione della lunghezza di provini non vincolati, presi in direzione longitudinale dalla membrana bituminosa, quando sottoposti ad uno specifico carico termico. Essa è data come una percentuale (%) relativa alla lunghezza iniziale

metodo di prova: UNI EN 1107-1:2002 *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione della stabilità dimensionale*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

grandezze misurate: variazione dimensionale

Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Stabilità dimensionale	allungamento	+ n %	UNI EN 1107-1:2002
	ritiro	-n %	UNI EN 1107-1:2002

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

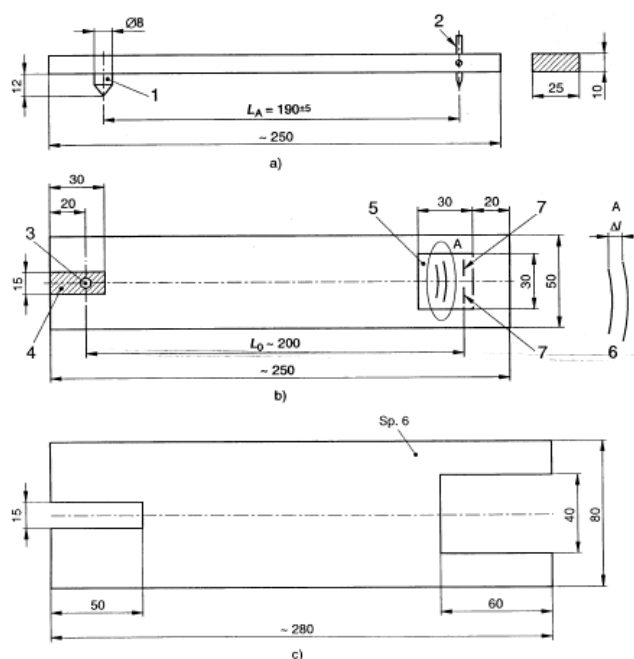
Metodo A (metodo ottico) e Metodo B (metodo meccanico) Norma UNI EN 1107-1:2002 *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione della stabilità dimensionale*

Metodo A (metodo ottico)

La lunghezza finale (dopo un riscaldamento in stufa fino a $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ per $24\text{h}\pm 10\text{m}$) è valutata misurando la distanza tra i contorni esterni dei due riferimenti in direzione radiale (si veda fig. n.7). Il valore di variazione dimensionale è espresso come percentuale della lunghezza iniziale L_0 ,

FIGURA 3.7

Metodo A (metodo ottico, fonte: UNI EN 1107: 2002)



LEGENDA

- a) compasso a trave
- b) provino
- c) piastra di acciaio
- 1 cono di acciaio
- 2 spillo
- 3 dado M5 (sede di misura)
- 4 massa imperm. rimossa
- 5 placchetta di alluminio
- 6 riferimenti di misura
- 7 graffette

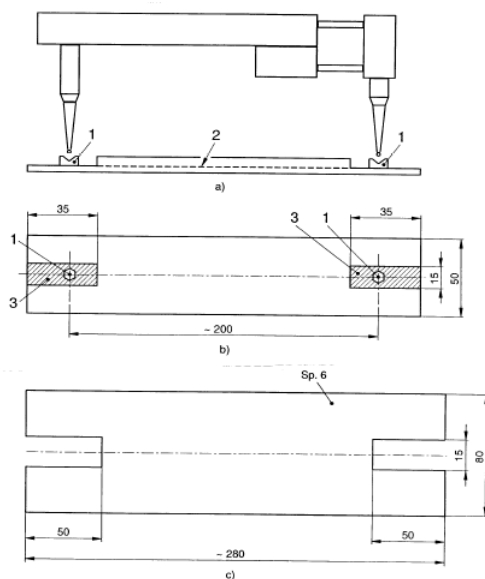
dimensioni in mm

Metodo B (metodo del calibro)

La lunghezza finale (dopo un riscaldamento in stufa fino a $80 \pm 2^\circ\text{C}$ per $24\text{h} \pm 10\text{m}$) è valutata misurando la distanza tra le sedi di misura sul provino (si veda fig. n.8). Il valore di variazione dimensionale è espresso come percentuale della lunghezza iniziale L_0 .

FIGURA 3.8

Metodo B (metodo del calibro, fonte: UNI EN 1107: 2002)



LEGENDA

- a) calibro di misura
- b) provino
- c) piastra di acciaio
- 1 sede di misura
- 2 armatura
- 3 massa imperm. rimossa

dimensioni in mm

3.2.3 Stabilità dimensionale dell'isolante termico

Definizione: determinazione delle variazioni delle dimensioni lineari che si verificano quando i provini sono stati condizionati, sottoposti a un ambiente specificato per un periodo di tempo definito e successivamente ricondizionati.

Definizioni correlate:

lunghezza, l : dimensione del provino parallela alla dimensione lineare maggiore della superficie principale del prodotto originale.

larghezza, b : dimensione lineare della superficie principale del provino, misurata perpendicolarmente alla lunghezza.

spessore, d : dimensione lineare misurata perpendicolarmente al piano della lunghezza e della larghezza.

metodo di prova: UNI EN 1604: Isolanti termici per edilizia
Determinazione della stabilità dimensionale in condizioni specificate di umidità e di temperatura

Esigenze correlate: benessere e gestione

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua e aspetto

grandezze misurate: variazione dimensionale

Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Stabilità dimensionale	allungamento	+ n %	UNI EN 1604
	ritiro	-n %	UNI EN 1604

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

I provini devono essere tagliati ortogonalmente ed essere prismi con sezione quadrata di lato di (200 ± 1) mm. Possono essere anche utilizzate dimensioni maggiori.

I provini devono essere tagliati in modo tale da essere rappresentativi del prodotto delle dimensioni di fornitura. Ogni pelle superficiale, rivestimento e/o vernice devono essere mantenuti.

I provini devono essere condizionati fino ad equilibrio in atmosfera di $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e (50 ± 5) % di umidità relativa.

Successivamente, nella stessa atmosfera utilizzata per il condizionamento, si determina la lunghezza e la larghezza iniziali di ciascun provino (l_0 e b_0), effettuando le letture in tre posizioni (l_{01}, l_{02}, l_{03} e b_{01}, b_{02}, b_{03}) e lo spessore iniziale (d_0) in cinque posizioni ($d_{01}, d_{02}, d_{03}, d_{04}, d_{05}$) come indicato nella figura n.9.

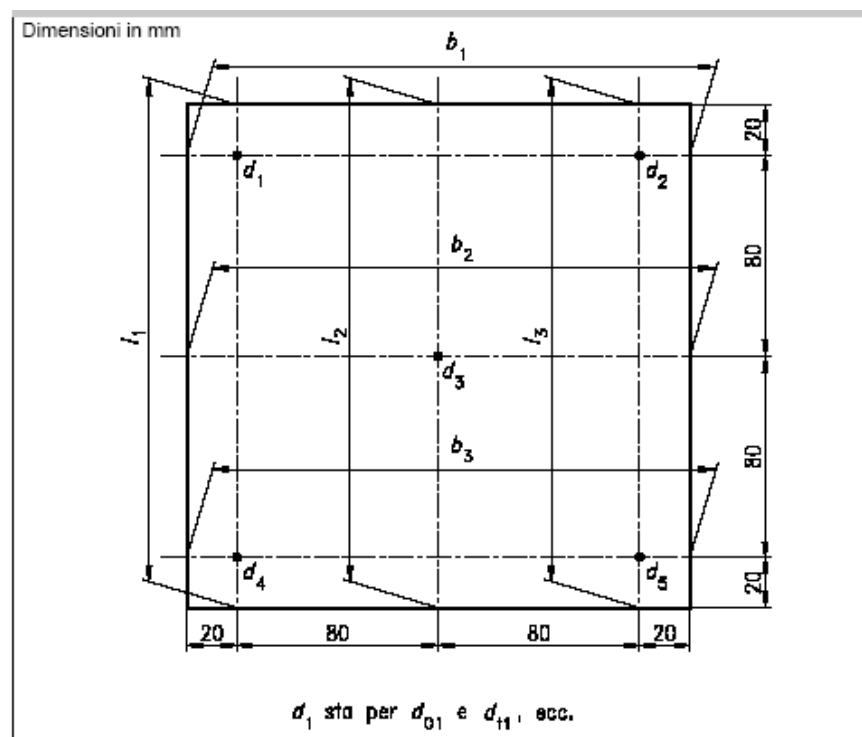
Si collocano i provini orizzontalmente o verticalmente nella camera di prova, a non meno di 25 mm di distanza l'uno dall'altro, su una rete metallica rigida o una piastra perforata di metallo in modo che si abbia sostanzialmente libera circolazione di aria attorno ai provini. I provini non devono essere esposti alla radiazione diretta di qualsiasi elemento riscaldante.

La durata di esposizione preferita è (24 ± 1) h o (48 ± 1) h.

Terminata questa esposizione si rimuovono i provini e si espongono per altre (3 ± 1) h a un'atmosfera di $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \%$ di umidità relativa, quindi si determina la lunghezza, la larghezza e lo spessore finali dei provini (l_t, b_t e d_t), effettuando le letture (l_{t1}, l_{t2}, l_{t3} e b_{t1}, b_{t2}, b_{t3} e $d_{t1}, d_{t2}, d_{t3}, d_{t4}, d_{t5}$) nelle stesse posizioni delle misurazioni iniziali (vedere figura n.9).

FIGURA 3.9

Posizioni per la misurazione delle dimensioni (fonte: UNI EN 1604)



Il risultato della prova è la determinazione delle variazioni dimensionali, $\Delta \epsilon_l$, $\Delta \epsilon_b$ e $\Delta \epsilon_d$, in % a partire dalle misure singole, mediante le equazioni da [1] a [3]:

$$\Delta_{\varepsilon l} = 100 \cdot \frac{l_t - l_0}{l_0} \quad [1]$$

$$\Delta_{\varepsilon b} = 100 \cdot \frac{b_t - b_0}{b_0} \quad [2]$$

$$\Delta_{\varepsilon d} = 100 \cdot \frac{d_t - d_0}{d_0} \quad [3]$$

dove:

l_0 , b_0 e d_0 sono le dimensioni iniziali dopo condizionamento, in millimetri;

l_t , b_t e d_t sono le dimensioni finali dopo esposizione, in millimetri.

Si calcolano i valori medi di ciascuna variazione dimensionale, $\Delta_{\varepsilon l}$, $\Delta_{\varepsilon b}$ e $\Delta_{\varepsilon d}$ dai singoli risultati di prova.

Le variazioni dimensionali, $\Delta_{\varepsilon l}$, $\Delta_{\varepsilon b}$ e $\Delta_{\varepsilon d}$ devono essere arrotondate allo 0,1% più prossimo.

3.3 Resistenza ad azioni varie

3.3.1 Tenuta all'acqua della membrana

Definizione: condizione delle membrane flessibili per impermeabilizzazione se:

- a) in caso del metodo A: non si osserva alcuno scolorimento del filtro di carta posizionato sulla superficie del provino alla pressione dell'acqua applicata durante il periodo di prova totale;
- b) in caso del metodo B: la pressione massima iniziale non scende al di sotto del 5% del valore iniziale.

metodo di prova: UNI EN 1928:2002: *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma per impermeabilizzazione di coperture - Determinazione della tenuta all'acqua*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

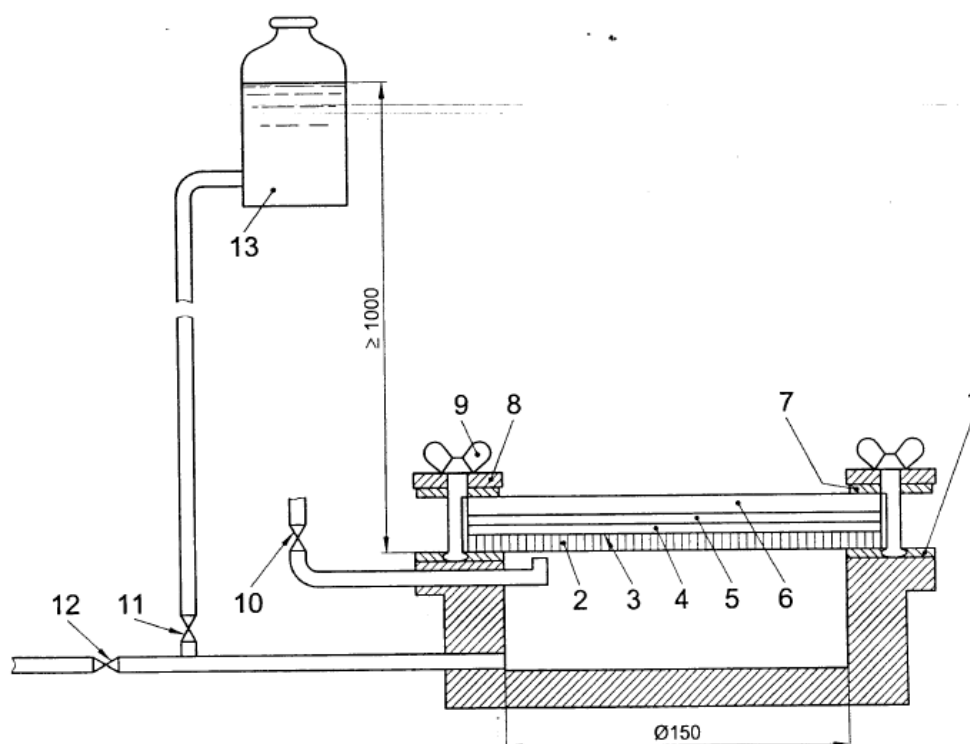
Metodo A (per membrane destinate all'utilizzo in applicazioni a basse pressioni, per es: copertura di tetti ecc.) e Metodo B (per membrane destinate all'utilizzo in applicazioni ad alta pressione, per es: tetti speciali, tunnel, serbatoi) UNI EN 1928:2002: *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma per impermeabilizzazione di coperture - Determinazione della tenuta all'acqua*

Metodo A (metodo ottico)

Il provino è considerato impermeabile all'acqua se non si nota scolorimento di un filtro di carta posizionato superiormente dopo un'esposizione della faccia opposta per 24 ± 1 h ad una temperatura di $23 \pm 5^\circ\text{C}$ alla pressione richiesta.

FIGURA 3.10

Apparecchiatura del metodo A (fonte UNI EN 1928: 2002)



LEGENDA: 1 - guarnizione in gomma inferiore; 2 - provino inserito in modo che la superficie generalmente esposta alle intemperie /all'acqua sia in contatto con l'acqua durante la prova; 3 - filtro di carta da laboratorio; 4 - miscela per l'indicazione dell'umidità uniformemente distribuita sulla superficie del provino; 5 - filtro di carta da laboratorio; 6 lastra di vetro; 7 - guarnizione di gomma superiore; 8 - anello di serraggio di acciaio; 9 - dadi ad alette; 10 - valvola di scarico dell'aria; 11 valvola di scarico dell'acqua; alimentazione idrica e valvola di scarico; 13 mezzo per l'applicazione ed il controllo della pressione fino a 60 kPa

Metodo B (metodo del calibro)

Il provino è considerato impermeabile all'acqua se rimane stagno dopo un'esposizione per 24 ± 1 h ad una temperatura di $23 \pm 5^\circ\text{C}$ alla pressione richiesta.

In entrambi i casi, la prova si ritiene fallita se c'è evidenza della penetrazione di acqua attraverso il filtro di carta posto al di sopra della guaina nel dispositivo di prova.

3.3.2 Trasmissione del vapore d'acqua della membrana

Definizione: proprietà di trasmissione del vapore d'acqua misurata attraverso le seguenti due grandezze:

- densità del flusso del vapore d'acqua (g);
- fattore di resistenza alla diffusione del vapore d'acqua

Definizioni correlate:

densità del flusso del vapore d'acqua (g): massa di vapore d'acqua trasmessa attraverso un'unità di area della membrana, di spessore definito in un'unità di tempo, sotto specificate condizioni di temperatura e di umidità, la quantità è definita dalla seguente relazione:

$$g = \frac{\Delta_m}{A \cdot \Delta t} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

permeanza al vapore w_p : quantità definita dalla seguente relazione:

$$w_p = \frac{g}{p_1 - p_2} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove: p_1 e p_2 sono le pressioni parziali del vapore sulle due facce del provino durante la prova.

permeabilità al vapore δ_p : quantità definita dalla seguente relazione:

$$\delta_p = w_p \cdot d \quad \text{è kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove: d è lo spessore del provino in m

fattore di resistenza alla diffusione del vapor d'acqua μ :

quantità definita dalla seguente relazione:

$$\mu = \frac{\lambda_{ma}}{\delta_p} \quad \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove: λ_{ma}^p è la conduttività del vapore d'acqua in aria

diffusione del vapor d'acqua – spessore dello strato d'aria equivalente μ :

quantità definita dalla seguente relazione:

$$s_d = \mu \cdot d \quad \text{m}$$

dove: d è lo spessore del provino in m.

metodo di prova: UNI EN 1931 *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore d'acqua*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: controllo della condensazione interstiziale

grandezze misurate: densità del flusso del vapore d'acqua (g); fattore di resistenza alla diffusione del vapor d'acqua μ .

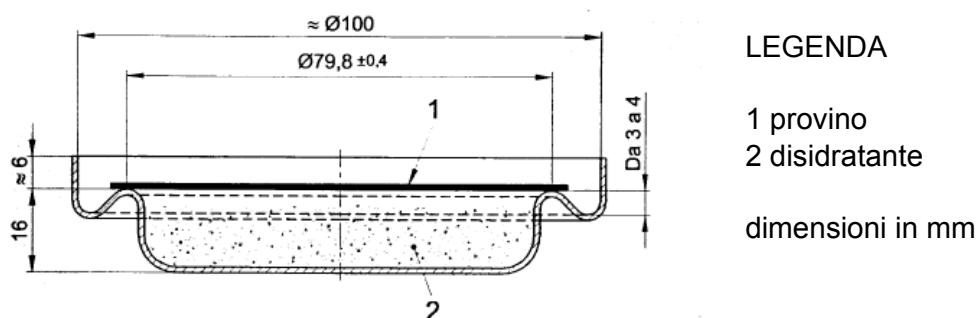
Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Trasmissione del vapore d'acqua	densità del flusso del vapore d'acqua (g)	kg/(m ² ·s)	UNI EN 1931
	Fattore di resistenza alla diffusione del vapor d'acqua μ	kg/(m·s·Pa)	UNI EN 1931

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Consiste nell'effettuare delle pesature di quattro provini dei quali uno di riferimento. I provini sono sigillati ad una tazza di alluminio puro trafilato di dimensioni definite. La tazza contiene un disidratante (eccetto quella alla quale è sigillato il provino di riferimento). In accordo con il metodo A, quello proposto per le membrane bituminose, i provini vanno pesati dopo essere stati conservati per almeno 90 giorni a 23°C e al 75% di umidità relativa. Si traccia quindi il diagramma della massa misurata in funzione del tempo ad intervalli settimanali, la pesatura periodica si interrompe quando 4 punti consecutivi, escludendo la pesatura iniziale, si trovano allineati su una retta (con scostamento massimo del 5%). Una serie di calcoli matematici conduce poi alla determinazione dei valori di densità del flusso del vapore d'acqua (g) e del fattore di resistenza alla diffusione del vapor d'acqua μ , che caratterizzano il resoconto della prova.

FIGURA 3.1

Apparecchiatura di prova (fonte UNI EN 1931: 2002)



3.3.4 Resistenza alla grandine della membrana

Definizione: la capacità della membrana di resistere al “punzonamento” indotto dalla grandine

Definizioni correlate:

superficie: faccia superiore della membrana, come utilizzata in situ; generalmente all'interno del rotolo

velocità di danneggiamento v_s : la più bassa velocità, espressa come numero intero, in m/s, necessaria ad una sfera per causare perforazione con perdita di impermeabilità

metodo di prova: UNI EN 13538 *Membrane bituminose, di materiale plastico e gomma per impermeabilizzazione di coperture. Determinazione della resistenza alla grandine*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: tenuta all'acqua

grandezze misurate: velocità di danneggiamento v_s che ha causato la perforazione di almeno 5 provini su supporto rigido o su supporto morbido

Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Resistenza alla grandine	velocità di danneggiamento v_s	m/s	UNI EN 13538

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Consiste nel sottoporre a prova almeno 10 provini (dimensioni 250 ± 2 mm per la larghezza della membrana) ricavati sull'intera lunghezza del rotolo e

condizionati per almeno 24h a 23 ± 2 °C e ad un'umidità relativa di $50 \pm 10\%$. La superficie dei provini è colpita da una sfera di materia plastica di dimensioni definite, che può essere lanciata sia in direzione verticale sia in direzione orizzontale. Il resoconto della prova consiste nella determinazione delle velocità di danneggiamento v_s che ha causato la perforazione di almeno 5 provini su supporto rigido o su supporto morbido.

3.3.5 Trasmissione del vapore acqueo dell'isolante termico

Definizione: la proprietà di trasmissione del vapore d'acqua dell'isolante termico è misurata attraverso le seguenti due grandezze:

- velocità di trasmissione del vapore acqueo e/o;
- permeanza al vapore acqueo e/o;
- permeabilità al vapore acqueo e/o;
- fattore di resistenza alla diffusione del vapore d'acqua

Definizioni correlate:

velocità di trasmissione del vapore acqueo, g : quantità di vapore acqueo trasmesso attraverso l'unità di superficie nell'unità di tempo, in condizioni specificate di temperatura, umidità e spessore.

$$g = \frac{\Delta_m}{A \cdot \Delta t} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

dove Δ_m è la variazione della massa, in milligrammi, nell'intervallo di tempo prescelto e Δt è la differenza tra i tempi di pesata successivi in ore

permeanza al vapore acqueo, W : rapporto della velocità di trasmissione del vapore acqueo del provino e della differenza di pressione del vapore acqueo tra le due facce del provino durante la prova.

$$W = \frac{g}{\Delta p} \quad \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove: Δp è la differenza del vapore acqueo in pascal dato dalla norma in funzione delle condizioni di prova.

resistenza al vapore acqueo, Z : Inverso della permeanza del vapore acqueo.

permeabilità al vapore acqueo, δ : Il prodotto della permeanza per lo spessore del provino. La permeabilità al vapore acqueo di un prodotto omogeneo è una caratteristica del materiale. Essa è la quantità di vapore acqueo trasmessa nell'unità di tempo, attraverso l'unità di superficie del prodotto, per unità di differenza di pressione di vapore tra le sue facce per spessore unitario.

$$\delta = W \cdot d \quad \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove: d è lo spessore del provino in m

fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo, μ : Rapporto della permeabilità al vapore acqueo dell'aria e della permeabilità al vapore acqueo del materiale o prodotto omogeneo interessato. Esso indica la grandezza relativa della resistenza al vapore acqueo del prodotto e quella di uno strato di aria in quiete dello stesso spessore e alla stessa temperatura.

$$\mu = \frac{\delta_{aria}}{\delta} \quad \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

dove δ_{aria} è la permeabilità al vapore d'acqua dell'aria

spessore dello strato di aria equivalente alla diffusione del vapore acqueo, s_d : spessore di uno strato di aria in quiete che presenta la stessa resistenza al vapore acqueo del provino di spessore d.

quantità definita dalla seguente relazione:

$$s_d = \mu \cdot d \quad \text{m}$$

d è lo spessore del provino in m.

metodo di prova: UNI EN 12086 - *Isolanti termici per edilizia. Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo*

Esigenza correlata: benessere

Classe di requisito correlato: controllo della condensazione interstiziale

grandezze misurate: densità del flusso del vapore d'acqua (g); fattore di resistenza alla diffusione del vapor d'acqua μ .

Requisito	Grandezze misurate	Unità di misura	Norma di riferimento
Trasmissione del vapore d'acqua	Velocità di trasmissione del vapore acqueo	mg/(m ² ·h)	UNI EN 12086
	Permeanza del vapore acqueo	mg/(m ² ·h·Pa)	UNI EN 12086
	Permeabilità al vapore acqueo	mg/(m·h·Pa)	UNI EN 12086
	densità del flusso del vapore d'acqua (g)	kg/(m ² ·s)	UNI EN 12086
	fattore di resistenza alla diffusione del vapor d'acqua μ	kg/(m·s·Pa)	UNI EN 12086

descrizione della modalità di rilevamento delle grandezze misurabili

Consiste nel sottoporre a prova almeno un minimo di 5 provini. Se la superficie del provino è maggiore di 500 cm si deve sottoporre a prova un minimo di 3 provini. I provini devono essere rappresentativi del prodotto e devono comprendere ogni pelle superficiale naturale o rivestimenti di materiale/i diverso/i.

La superficie esposta A del provino (media aritmetica delle superfici esposte superiore e inferiore) deve essere almeno 50 cm².

I provini devono essere condizionati per almeno 6 h a (23±5)°C.

Il provino viene sigillato al lato aperto di un recipiente di prova, contenente un essiccante o una soluzione salina acquosa satura. L'insieme viene quindi posto in un ambiente di prova a temperatura e umidità controllate. A causa della differenza tra le pressioni parziali del vapore acqueo nell'insieme di prova e nell'atmosfera di prova, il vapore acqueo fluisce attraverso il provino. Vengono effettuate pesate periodiche dell'insieme, per determinare la velocità di trasmissione del vapore acqueo quando è raggiunto il regime stazionario.

Capitolo 4

Riconoscimento e rilievo dei decadimenti prestazionali degli elementi in opera

4.1 Introduzione

La “Patologia edilizia” nel rapporto finale⁹ della Commissione CIB W86 Building Pathology è definita come: disciplina che studia i fattori processuali, umani, ambientali, tecnici, tecnologici, fisici, chimici (fattori di disturbo) e i meccanismi interattivi che portano in tempi anormalmente ravvicinati ad alterazioni di tipo fisico o di tipo prestazionale di un elemento tecnico del sistema edilizio. Essa ha come obiettivo lo studio delle logiche di attivazione dei quadri morbosi che sono alla base dei processi di degrado e che alterano o accelerano i normali processi di invecchiamento naturale. In edilizia, dunque, si parla di patologia se i decadimenti (fisici o prestazionali) si sviluppano in termini temporali e qualitativi inattesi e contrastanti con il concetto convenzionale di invecchiamento naturale, istituito dal livello di sviluppo tecnologico del momento progettuale o costruttivo. Ai fini della corretta trattazione dell'argomento è necessario introdurre anche le definizioni, sempre secondo il documento CIB W86 prima citato, di: agente, anomalia, difetto e guasto. L'**agente** è un'entità che provoca un determinato effetto mediante la propria azione, l'**anomalia** (segno) è una manifestazione inattesa percepibile visivamente o strumentalmente, più o meno evidente; può avere rilevanza sintomatica (esantema) o meno per l'individuazione del difetto; può essere lo stesso difetto e lo stesso guasto. Il **difetto** rappresenta l' inadeguatezza di uno o più elementi costituenti un sistema edilizio; esso costituisce un fattore di disturbo capace di generare un guasto o un degrado: può dipendere da errori genetici, di costruzione, di uso, di manutenzione. Il difetto per poter provocare un degrado o un guasto richiede l'intervento di un agente scatenante (o di attivazione).

Il **guasto** è, infine, è il deterioramento che rende inutilizzabile o non più rispondente alla sua funzione un elemento tecnico o una sua parte. Anche il guasto può derivare da una condizione patologica o da fatti connessi al

⁹ CIB WORKING COMMISSION W86 "BUILDING PATHOLOGY"; "Building Pathology a State-of-the-Art Report". Final draft. Novembre 1992

normale invecchiamento: la discriminante tra le due condizioni è la temporizzazione dell'evento.

4.2 Anomalie rilevabili e diagnosi

Le coperture continue, oggetto del presente studio, costituiscono certamente un sistema alquanto complesso per effetto dei fattori di seguito esplicitati:

- molteplicità dei componenti e dei materiali con cui possono essere realizzate (portante, isolante termico, barriera al vapore, pendenza, tenuta all'acqua, protezione, imprimitura, continuità, ripartizione dei carichi, diffusione della pressione di vapore, regolarizzazione, separazione, drenante, filtrante, collegamento, zavorramento, ventilazione);
- molteplicità degli schemi funzionali e delle soluzioni tecniche adottabili in relazione al quadro esigenziale di partenza e conseguentemente ai requisiti e alle prestazioni attese;
- molteplicità delle destinazioni d'uso e dei gradi di accessibilità della coperture (per manutenzione, pedonabile, carrabile, deposito di oggetti di peso eccezionale: ad es. pompe di calore di impianti di condizionamento);
- molteplicità delle verifiche di congruenza da attuare (compatibilità dei materiali tra loro e con il supporto);
- molteplicità degli operatori coinvolti (progettista/i, direttore dei lavori, operatori, produttori, manutentori);
- Interrelazioni con le fasi operative di altre attività costruttive.

Ciò rende estremamente complessa anche l'anamnesi e la diagnosi delle patologie che è possibile riscontrare.

Come visto nel paragrafo precedente, un difetto permane allo stato latente e non è in grado di dare origine a un guasto, sia esso naturale che patologico, in assenza di un agente che ne attivi gli effetti. La manifestazione dello stato di sofferenza attivato da un difetto, anche prima che si arrivi al guasto, si palesa attraverso la comparsa di anomalie percepibili a vista o strumentalmente. Queste anomalie dipendono da alterazioni dei materiali conseguenti all'interazione tra loro o con specifici agenti di attivazione.

Le anomalie, che molto spesso vengono percepite solo in termini di decadimento dell'aspetto, possono essere espressione diretta di guasti o di difetti dello strato superficiale del sistema di impermeabilizzazione o indiretta di guasti e/o difetti attinenti a sottostrati non visibili, in quanto interni all'elemento tecnico.

Per ciò che riguarda l'interpretazione delle anomalie rilevabili, seguendo una prassi oramai ampiamente condivisa, la diagnosi può giungere alle seguenti conclusioni che possono combinarsi tra di loro¹⁰:

¹⁰ cfr. S Croce in AA.VV. *Manuale di progettazione edilizia Fondamenti, strumenti, norme, Vol. IV: Tecnologie – Requisiti, soluzioni, esecuzione, prestazioni*, HOEPLI Editore, Milano

- l'anomalia evidenzia direttamente il difetto dell'elemento su cui compare: è, ad esempio, il caso di fessurazioni della guaina impermeabilizzante che pregiudicano la tenuta all'acqua attivando il guasto "perdita di impermeabilità dello strato".
- l'anomalia evidenzia indirettamente l'esistenza di un difetto e/o di un guasto su altre parti non visibili: è il caso, ad esempio, della comparsa di condensa, all'intradosso di una copertura, che evidenzia un difetto di isolamento termico che palesa l'"insufficiente resistenza termica" o il caso dello stillicidio all'intradosso di una copertura che oltre ad evidenziare lo stato di guasto della membrana impermeabile può evidenziare indirettamente l'esistenza di un difetto in strati non visibili come, ad esempio, uno stato tensionale anomalo generato da difetti di resistenza meccanica della membrana o da difetti conseguenti alle eccessive deformabilità dei pannelli isolanti rigidi di supporto.

Lo studio delle anomalie rilevabili sarà condotto proprio con riferimento alle due tipologie introdotte, semplificativamente indicate nelle tabelle seguenti, che attengono alle due tipologie definite di:

- Anomalie correlate a difetti e/o guasti dell'elemento su cui compaiono;
- Anomalie correlate a difetti e/o guasti su altre parti non visibili

Per quanto concerne il primo gruppo di anomalie si guardi la tabella seguente:

ANOMALIE CORRELATE A DIFETTI E/O GUASTI DELL'ELEMENTO SU CUI COMPAIONO	
<i>Alterazioni cromatiche</i>	
Difetti e/o guasti	non idonea resistenza agli U.V. dello strato di protezione del manto (sia nel caso di membrane autoprotette che di vernici);
	macchiatura delle membrane (autoprotette e non) per errato stoccaggio dei rotoli prima della posa in opera (per effetto dell'irraggiamento solare)
<i>Alterazioni superficiali</i>	
Difetti e/o guasti	Alterazioni superficiali si accompagnano spesso a corrugamenti, avvallamenti o risalti della membrana, che danno luogo a zone in corrispondenza delle quali si verifica il deposito di materiale estraneo. Nelle membrane autoprotette possono verificarsi alterazioni superficiali consistenti in lacune nello strato di ardesia dovuto alla non idonea adesione dei granuli. Altre alterazioni superficiali possono verificarsi in assenza di resistenza chimica del bitume a contatto con le sostanze più comuni
	non idonea resistenza alla spellatura della guaina
<i>Incrinature e/o corrugamenti della membrana</i>	
Difetti	non idonea stabilità dimensionale
	non idonea stabilità dimensionale in condizioni cicliche di temperatura
	non idonea flessibilità a freddo

<i>Distacchi in piano e lungo i risvolti</i>	
Difetti e/o guasti	non idoneo incollaggio della membrana (ad es. se è possibile sollevare lembi della membrana in opera rilevando sulla faccia inferiore ancora integro il film plastico che normalmente viene distrutto durante le fasi della sfiammatura questo è segno evidente che la membrana non è stata sufficientemente incollata)
	posa in doppio strato con armature diverse (diversa deformabilità dei due strati)
	continuità della membrana tra superficie verticale e orizzontale (il risvolto sui verticali dello stesso telo applicato sulle parti orizzontali)
<i>Fessurazioni e rotture</i>	
Difetti e/o guasti	non idonea resistenza a trazione
	non resistenza a taglio
	non idonea armatura
	non idonea flessibilità a freddo
	posa in doppio strato con armature diverse (diversa deformabilità dei due strati)
	deterioramento del film di polietilene di finitura superficiale della faccia inferiore delle membrane per effetto di uno scorretto stoccaggio (ad es. esposizione prolungata agli U.V.)
<i>Incisioni</i>	
Difetti	non idonea resistenza al punzonamento (nel caso di carichi elevati concentrati, ad esempio installazione in copertura di serbatoi e/o pedane di ripartizione carichi di sistemi impiantistici)
	non idonea resistenza alla lacerazione
	non idonea resistenza all'urto
<i>Vegetazione superiore</i>	
	non idonea resistenza alla penetrazione delle radici nella guaina

La gran parte delle anomalie correlabili a guasti o difetti delle guaine stesse, individuate e definite precedentemente, possono essere anche manifestazione patologica di difetti e/o guasti su altre parti non visibili. Esistono poi anomalie la cui comparsa è da ricondursi esclusivamente a difetti e/o guasti su parti che non coincidono con l'elemento su cui compaiono. Tali anomalie risultano gli scivolamenti, gli avvallamenti e i risalti, la condensazione interstiziale, le macchie di condensa e/o lo stillicidio all'intradosso.

Relativamente ad anomalie correlabili a difetti e/o guasti relativi a elementi differenti da quelli su cui compaiono è stata elaborata la seguente tabella riassuntiva:

ANOMALIE CORRELATE A DIFETTI E/O GUASTI SU ALTRE PARTI NON VISIBILI
<i>Alterazioni superficiali</i>

Difetti e/o guasti	Alterazioni superficiali possono rivelare la presenza di corrugamenti o di avvallamenti e risalti della copertura e dunque palesare difetti su parti non visibili quali quelli di seguito indicati rispettivamente per le due anomalie citate.
<i>Incrinature e/o corrugamenti della membrana</i>	
Difetti e/o guasti	mancata adesione di un pannello isolante instabile al supporto per anomalie geometriche del supporto o per errori nella stesura primer (essiccazione ecc.)
	eccessiva instabilità dimensionale del pannello isolante
	eccesso di bitume spalmato
	non idonea preparazione del supporto: irregolarità geometriche, distacchi delle stratificazioni superficiali del supporto ecc.
	non corretta applicazione della membrana e/o preparazione del piano di posa (ad es. assenza del trattamento con imprimitura bituminosa)
<i>Distacchi</i>	
Difetti	errato dimensionamento del sistema di vincolo rispetto alla ventosità del sito
	sconnessioni tra strati dovuti alle cause sopra elencate
	non idonea preparazione del piano di posa
<i>Distacchi in corrispondenza delle sovrapposizioni laterali e di testa</i>	
Difetti e/o guasti	non idonea resistenza alla trazione delle giunzioni
	non idonea resistenza al distacco delle giunzioni
	non idoneo dimensionamento delle sovrapposizioni
	non idonea esecuzione delle sovrapposizioni (ad es. realizzazione dei cosiddetti “giunti a croce” in cui si verifica la sovrapposizione in un unico “nodo strutturale” di quattro teli contemporaneamente, in tali punti, infatti, si sovrappongono le tensioni meccaniche di più teli, ognuno dei quali è fisiologicamente soggetto a naturali fenomeni di contrazione longitudinale e quindi a normali effetti di “ritiro” che causano il distacco delle giunzioni e conseguenti infiltrazioni)
<i>Scivolamenti</i>	
Difetti	errato dimensionamento del sistema di vincolo rispetto al peso proprio della guaina e alla ventosità del sito
	sconnessioni tra gli strati sottostanti
<i>Fessurazioni e rotture</i>	

Difetti	assenza di strati di controllo delle incompatibilità fisiche, chimiche, meccaniche (ad es. assenza dello strato di separazione tra guaina e massetto o dei giunti di dilatazione)
Avvallamenti e risalti	
Difetti	cattiva esecuzione dello strato di posa della impermeabilizzazione
	posa di teli incrociati sovrapposizione in un unico “nodo strutturale” di più teli contemporaneamente, in tali punti, infatti, si possono creare risalti e conseguentemente avvallamenti della superficie impermeabilizzata
Condensazione interstiziale	
Difetti	assenza barriera al vapore (è necessario procedere a calcoli specifici)
	presenza di acqua intrappolata al momento della costruzione (rugiada, brina, elementi ghiacciati, acqua piovana, acqua di costruzione)
	inserimento di un massetto ad umido tra schermo o barriera al vapore e elemento di tenuta
Macchie, disgregazioni e delaminazioni all'intradosso	
Difetti e/o guasti	assenza dello strato di isolamento termico
	ponti termici
	non idonea resistenza termica dello strato isolante che dà comunque luogo al fenomeno della “parete fredda”
	non idonea resistenza alla trasmissione del vapore d'acqua
	ossidazione di elementi metallici inseriti nel pacchetto di copertura (ferri di armatura, tubazioni, ecc.)
Stillicidio all'intradosso	
Difetti e/o guasti	presenza di fessurazioni e rotture della guaina impermeabilizzante;
	scollamenti delle sovrapposizioni e dei risvolti;
	errato posizionamento delle sovrapposizioni rispetto al senso del deflusso dell'acqua;
	non idoneo posizionamento e incollaggio della membrana in corrispondenza dei punti critici quali: innesto delle pluviali, salti di quota, zone perimetrali, lucernari ecc. (ad es. le flange degli scarichi in gomma dovrebbero essere sempre incollate all'elemento di tenuta inserendole tra due strati di membrana)

Un'altra chiave di lettura riferibile al rilievo delle anomalie che possono riscontrarsi su un pacchetto di copertura è legata alla cattiva risoluzione in fase progettuale di problemi tipicamente presenti per questo elemento tecnico quali:

- a) controllo delle condensazioni interstiziali;
- b) controllo delle azioni di carico d'esercizio (azioni meccaniche previste sul manto impermeabile: transito pedonale, transito veicolare, deposito di oggetti; azioni termiche, chimiche ecc.);
- c) controllo della stabilità sotto l'azione degli agenti atmosferici (esposizione agli U.V., vento, pioggia, grandine, neve) ;
- d) controllo della compatibilità fisico-chimica, meccanica e dimensionale dei materiali e dei componenti dei singoli strati funzionali (i materiali da impiegare ed il ciclo di impermeabilizzazione devono essere scelti in funzione delle caratteristiche del piano di posa e dell'uso previsto per la copertura cioè:
 - tipologia della struttura portante: solaio misto in laterizio e cemento armato, elementi prefabbricati semplicemente accostati, lamiera grecata, ecc.;
 - pendenza della copertura¹¹;
 - tipologia del piano di posa per i manti impermeabili: che può essere direttamente la stessa struttura portante con un eventuale massetto delle pendenze; ovvero un massetto di calcestruzzo cementizio di ripartizione dei carichi eseguito su di un sottostante strato termoisolante; ovvero infine lo stesso strato termoisolante;
- e) tipo di protezione che verrà sovrapposta al manto impermeabile: che è ovviamente in relazione all'uso previsto per la copertura e che può addirittura mancare fino ad essere costituita da una pavimentazione rigida

L'analisi di tali problematiche può condurre ad elaborare altri criteri di classificazione delle anomalie rilevabili.

Completato l'esame delle anomalie che nelle normali condizioni di esposizione e di uso possono interessare l'elemento tecnico indagato, è necessario effettuare una riorganizzazione delle stesse prevedendo di escludere quelle indotte da agenti che non è possibile simulare con camere climatiche. Nel caso di studio in oggetto, ad esempio, si è provveduto, come sarà meglio illustrato nel paragrafo seguente, ad eliminare dai rilievi da

¹¹ Uno studio dell'IGLAE individua quattro classi: pendenza nulla; pendenza fino al 3%; pendenza oltre il 3% fino all'8%; pendenza oltre l'8% e fino al 100% (volte, sheds, ecc.); pendenza oltre il 100% (verticali e subverticali);

eseguire nel corso del condizionamento, tutte le anomalie correlate ad agenti non simulabili in laboratorio.

4.3 Metodologie per la valutazione dei decadimenti prestazionali: a vista e strumentali

4.3.1 Premessa

I controlli sul pacchetto di copertura possono essere molteplici e relativi alle fasi progettazione/realizzazione/gestione del manufatto; essi possono di fatto concretizzarsi in:

- a) controlli sul progetto (verifica delle caratteristiche degli elementi scelti in relazione al quadro esigenziale, ai requisiti e alle prestazioni attese, verifica di compatibilità degli elementi scelti tra loro e con il supporto, verifica dell'esistenza di indicazioni e precauzioni operative, verifica di congruenza con gli elaborati architettonici e strutturali);
- b) controlli sui prodotti (esame delle schede tecniche, verifica dei processi di produzione¹²);
- c) controlli in fase di realizzazione dell'opera (verifica sulla modalità di stoccaggio dei prodotti; verifica della modalità di posa in opera, test e prove su campioni prelevati in cantiere);
- d) controlli a valle della realizzazione (prelievi e sondaggi in sito, prove di laboratorio su campioni prelevati in sito).

In questo paragrafo saranno trattate esclusivamente le tipologie di controllo funzionali alla determinazione dei decadimenti prestazionali indotti dai cicli di condizionamento in laboratorio al fine di strutturare un vero e proprio "programma di prove".

La necessità di descrivere gli "stati" che i provini attraversano durante l'invecchiamento indotto, e di codificare quelli ai quali sia da associare una determinata condizione di degrado e dunque di relativo intervento, rende infatti imprescindibile l'individuazione dei requisiti dei diversi elementi e dell'intero pacchetto, così come quella delle prestazioni iniziali.

L'analisi è stata condotta sulla base della normativa nazionale, della normativa internazionale, delle indicazioni dei manuali dei produttori, dell'esperienza sul campo.

Si potrà pervenire in tal modo a indicare le soglie prestazionali che da un lato descrivano sinteticamente il ciclo di vita dell'elemento, e dall'altra rendano possibile l'associazione ad un certo tipo di intervento.

¹² Ciascun fabbricante di membrane bituminose deve assicurare che i prodotti immessi sul mercato siano conformi alle caratteristiche prestazionali dichiarate.

Le frequenze minime di prova per il controllo della produzione in fabbrica sono indicate nel prospetto B.1 della norma UNI EN 13707 *Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di coperture – definizioni e caratteristiche* – Marzo 2005

4.3.2 Impostazione del programma di prove

Per pervenire all'impostazione del programma di prove da eseguire sui provini prima, durante e dopo il condizionamento, è stata condotta una disamina delle anomalie rilevabili e, a partire dalla norma ASTM E 632 una ripartizione delle stesse in difetti e/o guasti visibili e difetti e/o guasti rilevabili solo strumentalmente pervenendo alla tabella di seguito riportata nella quale è indicato anche il riferimento normativo per attuare la prova.

ANOMALIA VISIBILE	REQUISITO DA INDAGARE PER RILEVARE L'EVENTUALE DECADIMENTO PRESTAZIONALE	METODO DI MISURA	NORMA DI RIFERIMENTO
Alterazione cromatica	resistenza agli UV dello strato di protezione	a vista microfotografia	
	resistenza alle radiazioni U.V. della membrana	strumentale	UNI EN 1297
Alterazione superficiale	resistenza alla spellatura della guaina	a vista microfotografia	
	adesione dei granuli (per membrane autoprotette)	strumentale	UNI EN 12039 UNI 8202-35
	resistenza chimica a contatto con le sostanze più comuni/ resistenza agli agenti chimici	strumentale	
Incrinature /o corrugamenti	stabilità dimensionale della guaina	strumentale	UNI EN 1107-1
	stabilità dimensionale della guaina in condizioni cicliche di temperatura;	strumentale	UNI EN 1108
	flessibilità a freddo della guaina	strumentale	UNI EN 1109
	piegabilità a basse temperature	strumentale	UNI EN 495-5
	instabilità dimensionale del pannello isolante	strumentale	UNI EN 1604
	non corretta posa in opera (eccesso di bitume, non corretta adesione della guaina, irregolarità del supporto ecc.)	strumentale/ a vista	ASTM D 3617-2
Distacchi della membrana	stabilità dimensionale della guaina	strumentale	UNI EN 1107-1
	stabilità dimensionale della guaina in condizioni cicliche di temperatura;	strumentale	UNI EN 1108
	flessibilità a freddo della guaina	strumentale	UNI EN 1109
	piegabilità a basse temperature	strumentale	UNI EN 495-5
	instabilità dimensionale del pannello isolante	strumentale	
	non corretta posa in opera (non corretto incollaggio della membrana, continuità della membrana tra elemento orizzontale e verticale ecc.)	strumentale/ a vista	ASTM D 3617-2
	adesione interlaminare	strumentale	ASTM E 907-96

Distacchi delle sovrapposiz. laterali e di testa	resistenza alla trazione delle giunzioni	strumentale	UNI EN 12316
	resistenza al distacco delle giunzioni	strumentale	UNI EN 12317
	adesione tra gli strati	strumentale	Pull – off
	resistenza al sollevamento in opera (uplift resistance)	strumentale	ASTM E 907 – 96
Fessurazioni	resistenza a trazione	strumentale	UNI EN 12311
	resistenza alla lacerazione	strumentale	UNI EN 12310
	resistenza all'urto	strumentale	UNI EN 12691
	resistenza alla penetraz. radici	strumentale	UNI EN 13948
Incisioni	resistenza alla lacerazione	strumentale	UNI EN 12310
	resistenza al carico statico	strumentale	UNI EN 12730
	resistenza alla penetraz. radici	strumentale	UNI EN 13948
Condensaz. interstiziale	flessibilità a freddo della barriera al vapore	strumentale	UNI EN 1109
	resistenza a trazione	strumentale	UNI EN 12311
	Trasmissione del vapor d'acqua della barriera al vapore	strumentale	UNI EN 1931
	invecchiamento termico in acqua della barriera al vapore	strumentale	UNI8202-27
	non corretta posa in opera (assenza dello strato di barriera al vapore, presenza di acqua "imprigionata" ecc.)	strumentale/ a vista	ASTM D 3617-2
Presenza di acqua in assenza di fessurazioni e/o distacchi	tenuta all'acqua della membrana	strumentale	UNI EN 1928
	tenuta all'acqua dopo allungamento per trazione a bassa temperatura della membrana	strumentale	UNI EN 13897
	trasmissione del vapore d'acqua della membrana	strumentale	UNI EN 1931
	resistenza alla grandine della membrana	strumentale	UNI EN 13583

Attesa la complessità dell'elemento indagato e del numero elevato di prove che occorrerebbe effettuare per una esaustiva descrizione dei decadimenti prestazionali dei singoli strati e dell'intero pacchetto di copertura, si è scelto di effettuare una semplificazione e di raggruppare le anomalie rilevabili nei seguenti tre "macrogruppi":

1. Alterazioni superficiali (che comprendono anche le alterazioni cromatiche eventuali);
2. Distacchi (che comprende: i distacchi della guaina dal supporto; i distacchi interlaminari; i distacchi in corrispondenza delle giunzioni, incrinature e/o corrugamenti, sollevamenti e/o ondulazioni);
3. Fessurazioni (che comprende: coccodrillature, incisioni, strappi ecc.)

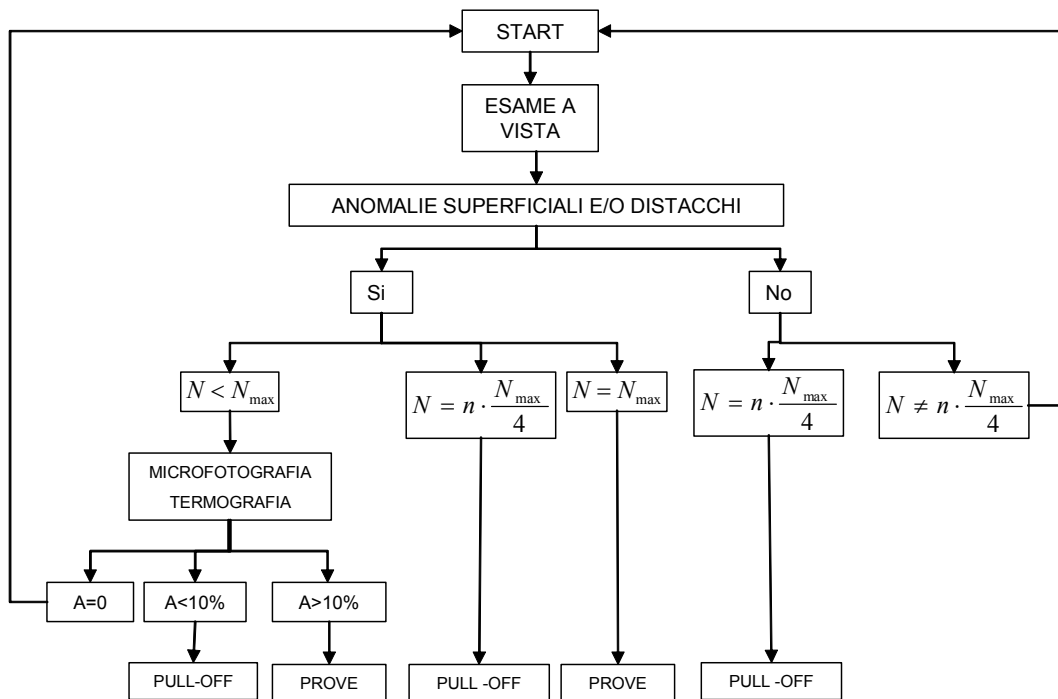
Si noti che si è esclusa la presenza di vegetazione superiore in quanto si è scelto di non simulare in laboratorio gli agenti che solitamente attivano l'innesco di tale patologia.

In tal modo le alterazioni superficiali saranno rilevate a mezzo di microfotografia; i distacchi tramite termografia e conseguente esecuzione di pull – off e le fessurazioni a vista.

Nella logica di costruire le seguenti tre curve prestazioni – tempo:

4. Efficacia strato di protezione/tempo;
5. Adesione tra strati e al supporto/ tempo;
6. Tenuta all'acqua /tempo;

Si potranno eseguire prove per indagare requisiti secondo il seguente schema logico:



Dove:

N = numero di cicli

A = superficie spellicolata e/o distaccata

Prove= Prove distruttive in laboratorio a scelta tra quelle elencate

N_{\max} = numero di cicli oltre il quale la prova non è significativa

$$N = n \cdot \frac{N_{\max}}{4}$$

dove $n = 1,2,3,4$ corrisponde al numero dei cicli a valle dei quali occorre eseguire il pull-off per costruire la curva σ -numero cicli (T)

In tal modo potranno essere costruite per punti le curve “efficacia strato di protezione/tempo” (limitandosi ad effettuare microfotografie della superficie ad ogni $n = 1,2,3,4$); e la curva “adesione tra strati e al supporto/ tempo”; Per quanto concerne gli altri requisiti potranno effettuarsi delle estrapolazioni confrontando i valori iniziale e finale (prima e dopo il condizionamento)

4.3.3 Prove prima del condizionamento

Prima del condizionamento occorre effettuare un esame della membrana impermeabilizzante onde valutarne: dimensioni, tolleranze e massa areica oltre che per individuare l'eventuale presenza di difetti visibili in conformità alla norma UNI –EN 1850 –1.

DIFETTO	DEFINIZIONE
Bolla	<i>Innalzamento della superficie, di contorno e dimensione non regolare, con una cavità all'interno di essa</i>
Rottura	<i>Fessura che penetra la superficie esterna del materiale o il suo spessore. Il materiale bituminoso risulta completamente separato fra le pareti della fessura</i>
Buco	<i>Apertura attraverso la membrana che permette il passaggio dell'acqua</i>
Punti scoperti	<i>Area priva dell'autoprotezione minerale maggiore di 100mm^2</i>

Tabella 1: Difetti delle membrane bituminose –UNI EN 1850 - 1

Lo spessore e la massa areica sono determinate in conformità alla norma UNI EN 1849-1: Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione dello spessore e della massa areica - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture –

La lunghezza, la larghezza e la rettilineità delle membrane bituminose impiegate per la realizzazione dei provini sono determinate in conformità alla norma UNI EN 1848-1: Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione della lunghezza, della larghezza e della rettilineità - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture.

4.3.4 Prove prima, durante e dopo il condizionamento

Prove non distruttive

Elemento indagato: elemento di protezione

Metodo di indagine: Microfotografia

Definizione: ripresa fotografica effettuata attraverso un microscopio. L'immagine fotografica si può ottenere riprendendo, con la macchina fotografica regolata per l'infinito, l'immagine reale del soggetto proiettata a distanza infinita dall'oculare del microscopio, oppure proiettando direttamente sul piano della pellicola, senza l'interposizione dell'obiettivo fotografico, l'immagine reale dell'oculare.

Descrizione: Questa tecnica rende possibile l'osservazione di un'immagine reale, impercettibile all'occhio umano. Essa consiste nel fotografare un'immagine ottenuta con un microscopio. L'ingrandimento dell'immagine varia in funzione della strumentazione utilizzata. Con il microscopio ottico si possono ottenere ingrandimenti fino a 1.500 volte, mentre con il microscopio elettronico fino a 40.000 volte. Questo metodo fotografico è stato utilizzato per l'analisi dell'elemento di protezione (vernice) al fine di percepirne il degrado non visibile ad occhio nudo (spellicolature, lacune ecc.).

Elemento indagato: elemento di tenuta

Norme di riferimento: **UNI EN 1850-1:2001** *Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione dei difetti visibili - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture*

Scopo della norma: *determinazione dei difetti visibili delle membrane bituminose per copertura che potrebbero influenzare il comportamento funzionale delle stesse*

Elemento indagato: elemento di collegamento, strato di imprimitura

Metodo di indagine: Termografia

Definizione: Con il termine termografia si intende la visualizzazione bidimensionale della misura di irraggiamento. Attraverso l'utilizzo di una termocamera (strumento per eseguire controlli di tipo termografico) è possibile rilevare le radiazioni nel campo dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico e produrre immagini correlate con l'emissione di queste radiazioni.

Descrizione: Questa tecnica rende possibile l'osservazione di difetti nelle stratigrafie indagate, consentendo anche una quantificazione delle

eventuali aree che presentano anomalie. Le discontinuità termiche causate dalla presenza di difetti o danneggiamenti, che si originano sulla superficie indagata in seguito a riscaldamento, sono chiaramente evidenziabili nelle immagini termiche ottenute con l'impiego di termocamere ad alta risoluzione termica (0.05/0.01°C) e di opportune tecniche di *imaging*.

Nell'ambito della presente ricerca la tecnica è stata vantaggiosamente utilizzata per l'individuazione di aree che presentino distacchi della guaina dal supporto o distacchi tra gli strati funzionali. La termografia utilizza l'effetto che questi difetti hanno sulle caratteristiche di conducibilità termica del materiale. La regione che contiene eventuali anomalie, infatti, presenta un decremento della conduttività termica. Conseguentemente, dopo aver applicato un riscaldamento istantaneo al provino, si verifica che le aree distaccate si raffreddano più lentamente (o equivalentemente restano calde più a lungo) rispetto alle aree in condizioni normali. La ripresa con la videocamera agli infrarossi rileva le temperature superficiali e rende palesi i difetti che appaiono in video come aree che si trovano ad un livello termico più alto rispetto al resto della superficie.

A titolo esemplificativo, di seguito si riporta l'illustrazione delle indagini termografiche eseguite su alcuni provini nel corso della sperimentazione con le relative risultanze.

Descrizione sintetica dei provini sottoposti a videotermografia

I provini, delle dimensioni in pianta di 52cmx52cm, sono costituiti da un telaio di supporto in acciaio realizzato con profili a L delle dim. di 30x60x5mm. All'interno del telaio sono posizionate tavelle in laterizio (poste sia longitudinalmente che trasversalmente lungo il perimetro) che simulano la struttura portante, al di sopra delle tavelle si trovano i successivi strati come descritti nella tabella seguente. E' opportuno segnalare che la posa della guaina è stata effettuata in totale aderenza proprio per verificare se il condizionamento avesse influenza su questo parametro.

TABELLA 4.4

Stratigrafie dei provini realizzati

1) Stratigrafia provino n.1
1.1) tavella in laterizio
1.2) masso di pendenza con malta cementizia dosata a 2 q.li alleggerita con argilla espansa
1.3) massetto sottile con cemento e sabbione calcareo dosato a q.li 3
1.4) guaina protetta con vernice acrilica
2) Stratigrafia provino n. 2
2.1) tavella in laterizio
2.2) masso di pendenza con malta cementizia dosata a 2 q.li alleggerita con argilla espansa
2.3) massetto sottile con cemento e sabbione calcareo dosato a q.li 3

2.4) guaina autoprotetta con scaglie di ardesia
3) Stratigrafia provino n. 3
3.1) tavella in laterizio
3.2) masso di pendenza con malta cementizia dosata a 2 q.li alleggerita con argilla espansa
3.3) massetto sottile con cemento e sabbione calcareo dosato a q.li 3
3.4) coibente in poliuretano prerivestito di bitume
3.5) guaina protetta con vernice acrilica
4) Stratigrafia provino n. 4
4.1) tavella in laterizio
4.2) masso di pendenza con malta cementizia dosata a 2 q.li alleggerita con argilla espansa
4.3) massetto sottile con cemento e sabbione calcareo dosato a q.li 3
4.4) coibente in poliuretano prerivestito di bitume
4.5) guaina protetta con vernice acrilica

si guardi la tabella di sintesi riportata di seguito:

TABELLA 4.5

Tabella di sintesi dei provini realizzati

PROVINO N.	GUAINA VERNICIATA	GUAINA ARDESIATA	ISOLANTE TERMICO
1	X		
2		X	
3	X		X
4		X	X

FIGURA 4.1
Provino n.1 e Provino n.2

Pianta e sezioni (tipo 1 e 2)

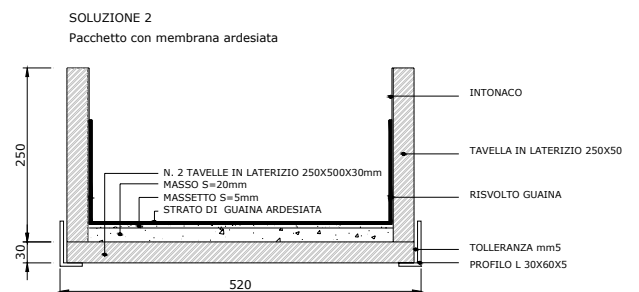
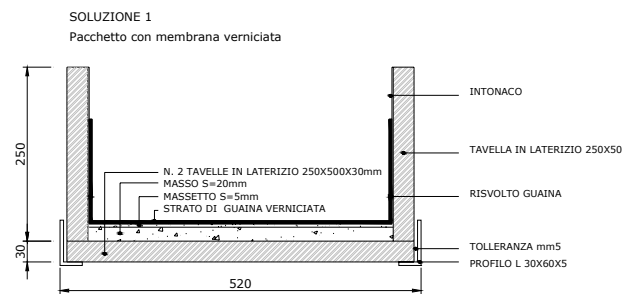
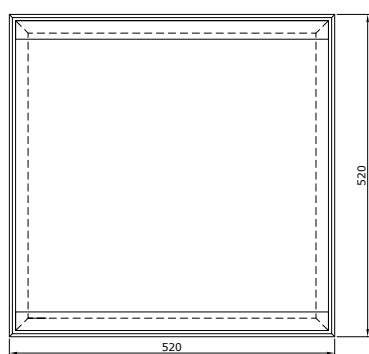
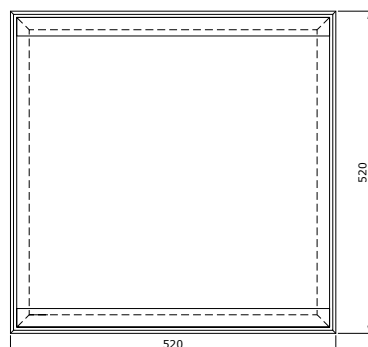


FIGURA 4.2

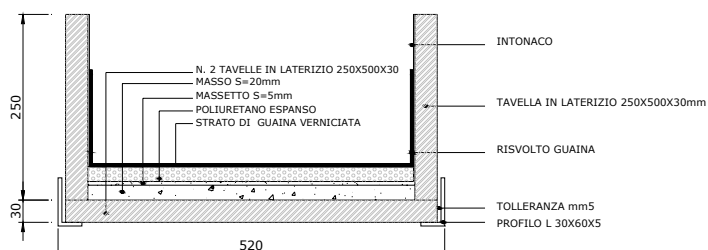
Provino n. 3 e Provino n. 4

Pianta e sezioni (tipo 3 e 4)



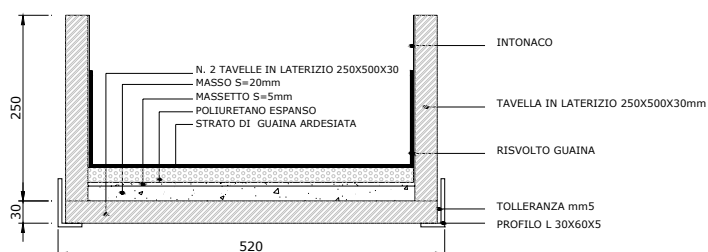
SOLUZIONE 3

Pacchetto con membrana verniciata (con elemento termoisolante)



SOLUZIONE 4

Pacchetto con membrana ardesiata (con elemento termoisolante)



La strumentazione utilizzata

Per le ispezioni videotermografiche ad infrarossi è stata utilizzata una termocamera *handy thermo* AVIO "TVS-200" in grado di fornire immagini in falsi colori della radianza degli oggetti e dei materiali sottoposti ad indagine. Le immagini ottenute sono memorizzate in formato digitale e quindi trasportabili su PC ove, mediante l'utilizzo di appositi programmi, possono essere processate ed analizzate. La termocamera lavora nella regione tra 8

e 14 μm usando un rivelatore termico microbolometrico con risoluzione termica di 0,08°C e risoluzione grafica di 320x240 pixel.

Risultati dell'indagine

I provini realizzati sono stati monitorati sotto sollecitazione termica naturale ottenuta mediante riscaldamento solare. La registrazione dell'immagine termica è stata effettuata durante la fase di riscaldamento.

Sono state utilizzate due diverse metodiche di registrazione:

- a) rilievo dati relativo a regime termico;
- b) rilievo dei dati con sequenza temporale di più immagini al fine di studiare il transitorio termico in fase di innalzamento della temperatura.

Successivamente le immagini sono state ulteriormente elaborate realizzando :

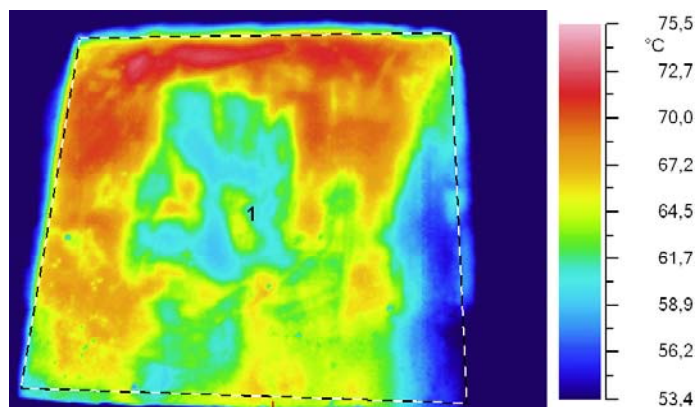
- immagini tridimensionali della superficie d'esame;
- profili termici;
- valutazione quantitativa delle aree di non adesione della guaina al supporto;

Nella fase di riscaldamento, l'esame videotermografico della superficie dei provini ha fornito una serie di dati di sicuro interesse. Le immagini termografiche visualizzate, delle quali alcuni esempi sono riportati di seguito, hanno mostrato chiaramente zone a caratteristiche di adesione differenziate. La zona non aderente è quella che si presenta a temperature più elevate (cfr. fig. n. 3)

Il fenomeno è imputabile all'incremento della resistenza termica causato dalla mancata adesione alla superficie di applicazione. La difficoltà di trasmissione termica dell'energia solare radiante determina un surriscaldamento della guaina non aderente. Ciò consente di valutare le eventuali evoluzioni di guasti e/o difetti nel corso del condizionamento in camera climatica o in esterno. Al contrario, per la superficie ben aderente, dove la trasmissione termica al volume sottostante all'impermeabilizzazione non è ostacolata da aree di discontinuità, si evidenziano temperature meno elevate con variazioni di circa 5 ° C rispetto all'area di distacco (valore, questo, confermato in tutte le esperienze effettuate) .

FIGURA 4.3

Termogramma globale di una delle superfici indagate



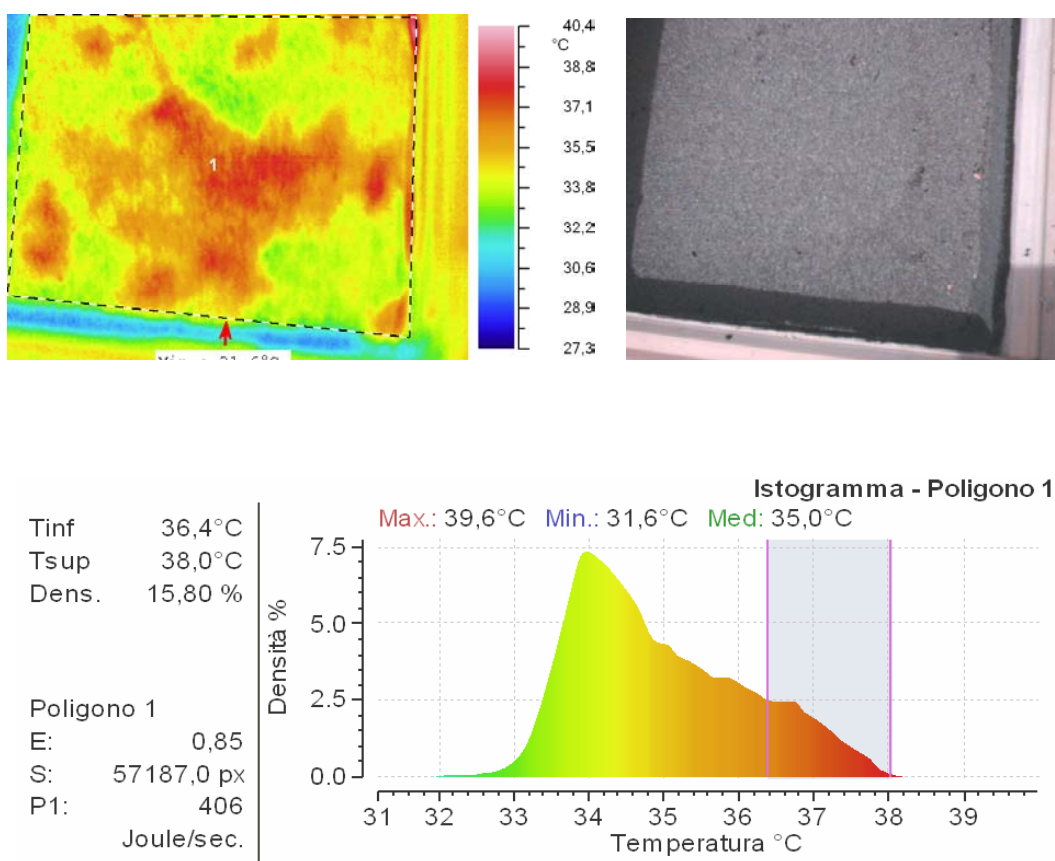
Alla luce dei risultati ottenuti sembra plausibile ritenere di introdurre dei valori termici di soglia ΔT che consentano di valutare la mancanza di adesione.


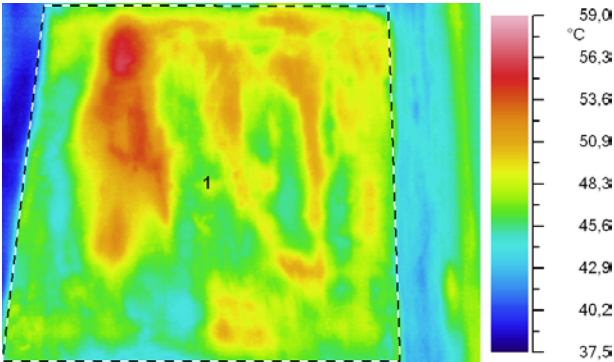

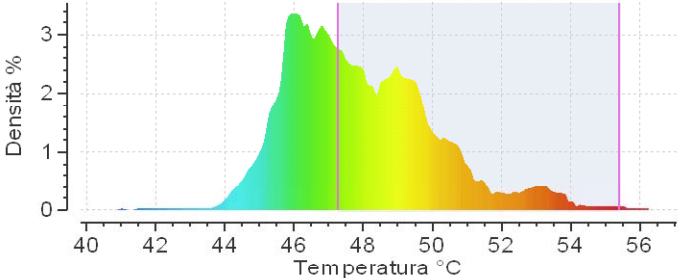
Valutazione quantitativa area di distacco

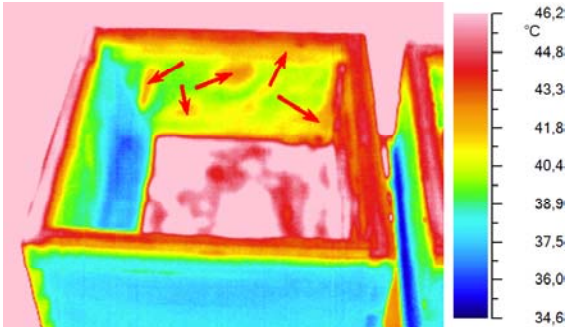

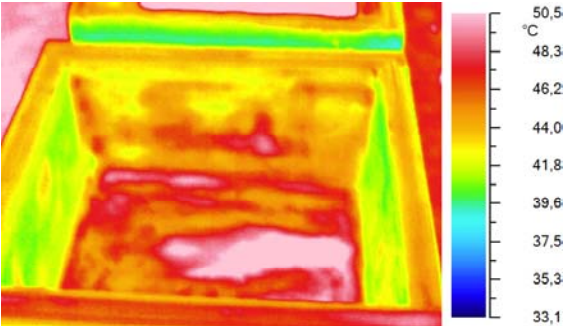

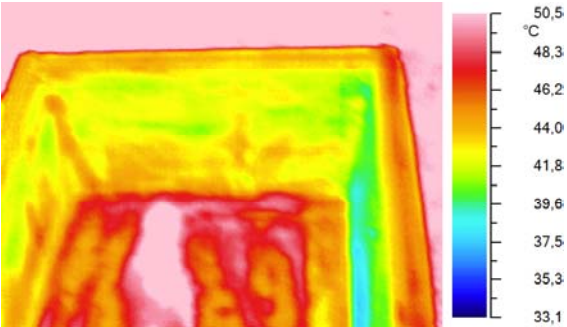

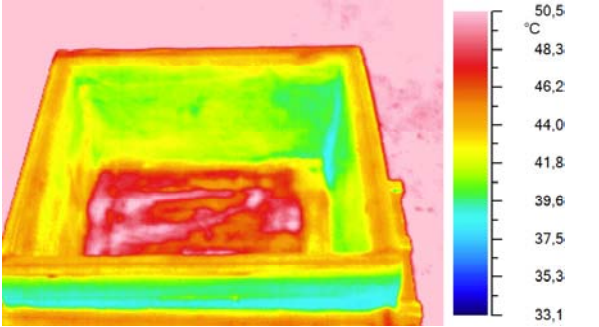

In base al *range* termico relativo alle aree di distacco è possibile una elaborazione quantitativa del valore della temperatura superficiale media di distacco. Nell'esempio riportato di seguito, per l'area selezionata tale temperatura è presente per il 15,80% della superficie.

FIGURA 4.4

Analisi sul provino 3 (area non aderente: 15,80 % dell'area totale)



SCHEDA DI ISPEZIONE VIDEOTERMOGRAFICA AD INFRAROSSI																	
INDAGINE SU PROVINO TIPO 1																	
	Ora e Data Ispezione 13:16:08 27.06.2006																
	Condizioni di lavoro T ambiente (sensore) : 37.9 °C																
	Note Giornata soleggiata, molto calda.																
Descrizione: guaina protetta con vernice acrilica – massetto sottile con cemento e sabbione calcareo dosato a q.li 3 – masso di pendenza con malta cementizia dosata a 2 q.li alleggerita con argilla espansa – supporto																	
Identificazione immagine																	
Superficie fondo																	
																	
Quantificazione dell'area di distacco																	
<table border="0"> <tr> <td>Tinf</td> <td>47,3°C</td> </tr> <tr> <td>Tsup</td> <td>55,4°C</td> </tr> <tr> <td>Dens.</td> <td>56,14 %</td> </tr> </table> <table border="0"> <tr> <td colspan="2">Poligono 1</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>S:</td> <td>58522,0 px</td> </tr> <tr> <td>P1:</td> <td>575</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Joule/sec.</td> </tr> </table>	Tinf	47,3°C	Tsup	55,4°C	Dens.	56,14 %	Poligono 1		E:	0,85	S:	58522,0 px	P1:	575	Joule/sec.		<p style="text-align: center;">Istogramma - Poligono 1</p> <p style="text-align: center;">Max.: 56,3°C Min.: 40,6°C Med: 48,0°C</p> 
Tinf	47,3°C																
Tsup	55,4°C																
Dens.	56,14 %																
Poligono 1																	
E:	0,85																
S:	58522,0 px																
P1:	575																
Joule/sec.																	
Esito: si evidenzia un distacco del 56,14% della superficie del fondo (aree giallo-arancio-rosso).																	

Esame risvolti della guaina	
Risvolto 1A	
	
Risvolto 1B	
	
Risvolto 1C	
	
Risvolto 1D	
	
Anomalie rilevate	
Si individuano aree di non adesione della guaina al supporto lungo i risvolti	

Elemento indagato: adesione dell'elemento di tenuta al substrato

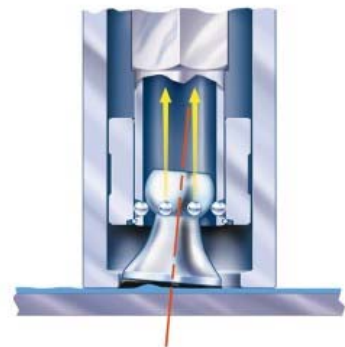
Metodo di indagine: Pull-off adhesion test

Definizione: Il test di adesione denominato *pull-off* consente la misurazione della forza richiesta per strappare un diametro specifico di rivestimento dal suo supporto applicando una pressione idraulica.

Descrizione: Il Pull-off adhesion test consente la misurazione della resistenza opposta dal rivestimento alla separazione dal substrato quando è applicata una forza di trazione.

FIGURA 4.5

Strumentazione per il pull- off



Sono state riscontrate ampie variazioni dell'accuratezza e della ripetibilità dei risultati in funzione dell'attrezzatura utilizzata. Per ridurre tali variazioni è indispensabile utilizzare uno strumento che minimizzi le sollecitazioni di taglio durante la prova. Esistono strumenti appositamente progettati a tale scopo che possiedono un meccanismo di auto allineamento nei confronti del provino indagato. Tale meccanismo utilizza l'articolazione di una testina sferica che ha possibilità di ruotare all'interno di un anello dimodoche il disco metallico incollato al rivestimento è soggetto a trazione pura.

TABELLA 4.6

Caratteristiche della strumentazione

Diametro del disco	20 mm
Risoluzione	$\pm 0,0,1$ MPa
Resistenza dell'adesione	0 - 20 MPa

4.3.5 Prove dopo il condizionamento

Prove distruttive sul provino

Requisito indagato: Adesione dell'elemento di tenuta

Norma di riferimento: ASTM D 3617 – 02 *Standard Practice for Sampling and Analysis of New Built-Up Roof Membranes*

Scopo della norma: Questa procedura indica le modalità per prelevare provini dalle membrane bituminose di nuova realizzazione, prima dell'applicazione delle vernici di protezione e dello strato di protezione al fine di determinare la quantità approssimativa dei componenti e l'eventuale presenza di umidità o acqua interclusa tra gli strati della membrana impermeabilizzante.

Provini da realizzare: Rimuovere del tutto l'isolamento se presente secondo un quadrato di 300mmx300mm, avendo cura di rimuovere la minore quantità di bitume possibile o lasciare l'isolamento in sito utilizzando poi le informazioni del produttore per correggere il peso. Determinare il peso del provino e le sue dimensioni eseguendo tre differenti misurazioni per ogni lato.

FIGURA 4.5

Dimensioni del provino

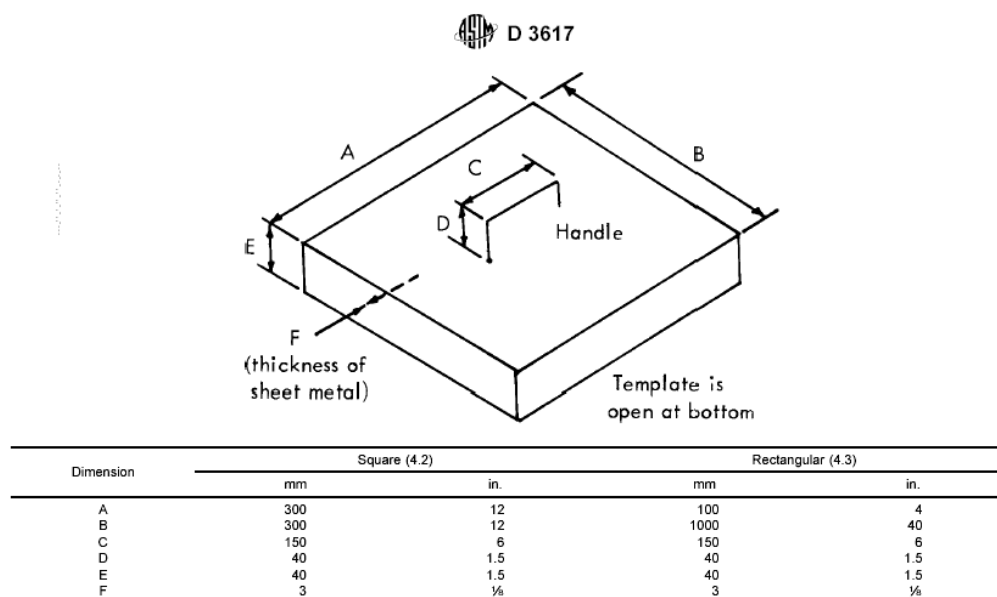


FIG. 1 Dimensions of Templates for Roof Sampling

La prova prevede la misurazione dei lati di ogni singolo strato membrana e il calcolo della relativa area (per effetto dell'incollaggio non tutti gli strati potrebbero avere le stesse dimensioni del provino di riferimento).

Successivamente un esame a vista lungo il bordo del provino permette di valutare la presenza di umidità all'interno della membrana e scollamenti o accumuli d'acqua tra gli strati ed un calcolo matematico consente di verificare la rispondenza degli elementi impiegati per l'impermeabilizzazione alle indicazioni del progettista e dei produttori.

Requisito indagato: Adesione dell'elemento di tenuta

Norma di riferimento: ASTM E 907 – 96 (Reapproved 2004) *Standard Test Method for Field Testing Uplift Resistance of Adhered Membrane Roofing Systems*

Scopo della norma: Questa procedura di prova consente la determinazione dell'aderenza dell'elemento di tenuta ottenuta sottoponendo la membrana di copertura in opera ad una pressione di estrazione (sollevamento).

Provini da realizzare: eseguire il test in zone rappresentative situate sia lungo il perimetro sia sulle aree interne della copertura. Il numero delle prove da effettuare andrà scelto secondo quanto indicato nella seguente tabella

Superficie della copertura (mq)	Numero di tests
100-450 mq	2
450-1000 mq	4
>1000 mq	4+1 per ogni 1000mq

Prove distruttive sugli elementi costituenti il provino

Le prove sui singoli strati costituenti il provino sono condotte con riferimento alle norme specifiche per i singoli strati elencate e descritte nel capitolo 3. Si potrà procedere eseguendo delle prove prima del condizionamento e dopo il condizionamento per valutare se quest'ultimo ha prodotto un decadimento prestazionale anche nei singoli strati costituenti il provino (di tenuta all'acqua, termoisolante, di barriera al vapore, ecc.)

Capitolo 5

Analisi dei fattori di degrado

5.1 I fattori secondo le norme

Tutti i metodi di valutazione della vita utile di servizio dei componenti edilizi partono dall'analisi dei fattori che ne influenzano il degrado basandosi prevalentemente su quanto prevedono le principali norme in vigore.

Per un elenco accurato dei fattori che inducono i maggiori effetti di degrado utili riferimenti sono costituiti dalle norme ISO 6241, BS 7543 e UNI 8290 (parte 3).

In particolare la ISO 6241 riassume gli agenti secondo lo schema seguente:

NATURA	CATEGORIA	ESEMPI
Agenti meccanici	Gravità	<i>carichi da neve, acqua piovana</i>
	Forze e deformazioni imposte o trattenute	<i>formazione di ghiaccio, espansione e contrazione, slittamento terreno</i>
	Energia cinetica	<i>impatti, tempeste di sabbia, scrosci d'acqua</i>
	Vibrazioni e rumori	<i>scavi, vibrazione dovuta al traffico o ad apparecchi per uso domestico</i>
Agenti elettromagnetici	Radiazioni	<i>solare/UV, radiazione radioattiva</i>
	Elettricità	<i>reazioni elettrolitiche, lampi</i>
	Magnetismo	<i>campi magnetici</i>
Agenti termici	Livelli estremi o alterazioni veloci della temperatura	<i>caldo, gelo, shock termico, fuoco</i>
Agenti chimici	Acqua e solventi	<i>aria umida, acqua sotterranea</i>
	Agenti ossidanti	<i>alcool, ossigeno, disinfettanti, candeggianti</i>
	Agenti riduttori	<i>solfuri, ammoniaca, agenti di combustione</i>

	Acidi	<i>acido carbonico, escrementi d'uccello, aceto</i>
	Basi	<i>calce, idrossidi, cemento</i>
	Sali	<i>nitrati, fosfati, cloruri, intonaco (gesso)</i>
	Agenti chimicamente neutri	<i>calcare, grasso, olio, inchiostro</i>
Agenti biologici	Vegetali e microrganismi	<i>batteri, muffe, funghi, radici</i>
	Animale	<i>roditori, termiti, vermi, uccelli.</i>

La norma propone una gamma molto varia di agenti classificati in base alla propria natura e distinti sulla base della loro influenza nei confronti del elemento edilizio. Gli agenti infatti possono trovarsi sia all'esterno della costruzione, e in tal caso l'origine prevalente è l'atmosfera o la terra, sia all'interno con un'origine legata prevalentemente al processo di fabbricazione, alla fase di installazione e ovviamente all'uso.

La norma ISO 15686 nella prima parte (*General principles*), all'allegato C (*Agents affecting the service life of building materials and components*), recepisce integralmente tale elenco e lo propone sia per lo sviluppo del metodo sperimentale di valutazione della vita utile sia per quello fattoriale.

In particolare per quest'ultimo, infatti, il valore di riferimento (RSL) viene corretto da coefficienti che rappresentano proprio l'assetto con il quale si manifestano i fattori di degrado nel caso di volta in volta in esame. Essi vengono proposti in una gamma varia che va da fattori di tipo estrinseco a quelli di natura intrinseca a quelli più specificatamente tecnologici e di uso, secondo quando riportato nella tabella seguente:

FAMIGLIA D'APPARTENENZA	FATTORE	AMBITO	ESEMPI
Caratteristiche relative alla qualità	A	Prestazioni dei materiali	Caratteristiche dei materiali, lavorazione, stoccaggio, trasporto
	B	Livello di progetto	Particolari costruttivi, giunti e fissaggi, protezione garantita ad altri elementi
	C	Livello di esecuzione del lavoro	Condizioni di lavoro in cantiere, livello della manodopera, caratteristiche climatiche ed ambientali registrate durante l'esecuzione
Condizioni ambientali che caratterizzano il contesto	D	Condizioni ambientali interne	Ventilazione, umidità, ambienti aggressivi

	E	Condizioni ambientali esterne	Condizioni climatiche ed ambientali
Condizioni operative che caratterizzano la fase di gestione	F	Condizioni di esercizio (uso)	Categorie di utenza, condizioni d'uso
	G	Livello di manutenzione	Manutenibilità espressa dalla natura e posizione dell'elemento, qualità e frequenza degli interventi di manutenzione

La norma inglese BS 7543, che costituisce di fatto un documento fondamentale nel panorama normativo dedicato ai problemi di durabilità di materiali e componenti edilizi, dedica alla disamina degli agenti di degrado l'intera seconda parte ponendo l'accento sull'importanza della specificità territoriale ed ambientale dei vari agenti (condizioni climatiche locali, microclima, ecc.) e sul problema degli effetti combinati di agenti presenti.

Si riportano di seguito le tabelle 6 e 7 della norma nelle quali viene presentata una sintesi ragionata di tutte le possibili cause di degrado che influenzano la durata:

FIGURA 5.1

Tabella 6 degli agenti di degrado secondo la BS 7543

Table 6 — Agents relevant to building performance ¹⁾				
Nature	Origin			
	External to the building		Internal to the building	
	Atmosphere	Ground	Occupancy	Design consequences
<i>Mechanical agents</i>				
Gravitation	Snow loads, rain water loads	Ground pressure, water pressure	Live loads	Dead loads
Forces and imposed or restrained deformations	Ice formation pressure, thermal and moisture expansion	Subsidence, slip, heave	Handling forces, indentation	Shrinkage, creep, forces and imposed deformations
Kinetic energy	Wind, hail, external impacts, sand-storm	Earthquakes	Internal impacts, wear	Water hammer
Vibration and noises	Wind, thunder, aeroplanes explosions, traffic, machinery noises	Traffic and machinery vibrations	Noise and vibration from music, dancers, domestic appliances	Services noises and vibrations
<i>Electro-magnetic agents</i>				
Radiation	Solar radiation, radioactive radiation	Radioactive radiation	Lamps, radioactive radiation	Radiating surface
Electricity	Lightning	Stray currents	—	Static electricity, electrical supply
Magnetism	—	—	Magnetic fields	Magnetic fields
<i>Thermal agents</i>	Heat, frost, thermal shock	Ground heat, frost	User emitted heat, cigarette	Heating, fire

NOTE This table is based on Table 4 of ISO 6241.

FIGURA 5.2

Tabella 6 degli agenti di degrado secondo la BS 7543

Table 6 — Agents relevant to building performance ¹⁾				
Nature	Origin			
	External to the building		Internal to the building	
	Atmosphere	Ground	Occupancy	Design consequences
<i>Chemical agents</i>				
Water and solvents	Air humidity, condensation, precipitation	Surface water, groundwater	Water sprays, condensation, detergents, alcohol	Water supply, waste water, seepage
Oxidizing agents	Oxygen, ozone, oxides of nitrogen	Positive electrochemical potentials	Disinfectant, bleach	Positive electrochemical potentials
Reducing agents	—	Sulfides	Agents of combustion, ammonia	Agents of combustion, negative electrochemical potentials
Acids	Carbonic acid, bird droppings, sulfuric acid	Carbonic acid, humic acids	Vinegar, citric acid, carbonic acid	Sulfuric acid, carbonic acid
Bases	—	Lime	Sodium hydroxide, potassium hydroxide, ammonium hydroxide	Sodium hydroxide, cement
Salts	Salty fog	Nitrates, phosphates, chlorides, sulfates	Sodium chloride	Calcium chloride, sulfates, plaster
Chemically neutral	Neutral dust	Limestone, silica	Fat, oil, ink, neutral dust	Fat, oil, neutral dust
Expansive materials		Steel, slag, pyritic shale		
<i>Biological agents</i>				
Vegetable and microbial	Bacteria, seeds, moulds, fungi, algae	Bacteria, moulds, fungi, roots	Bacteria, fungi, moulds	Need to exclude moisture, ventilation
Animal	Insects, birds	Rodents, termites, worms	Domestic animals	—

NOTE This table is based on Table 4 of ISO 6241.

FIGURA 5.3

Tabella 7 degli agenti di degrado secondo la BS 7543

Table 7 — Agents that can affect the service life of building components and materials		
Types of agents	Agent	Clause
Weathering agents	Temperature	B.2
	Radiation Solar Thermal	B.3
	Water Solid (e.g. snow, ice) Liquid (e.g. rain, condensation) Vapour (e.g. high humidity)	B.4
	Normal air constituents Oxygen Carbon dioxide	B.5
	Air contaminants Gases (e.g. oxides of nitrogen and sulfur) Sea spray Particulates (e.g. sand, dust)	B.6
	Freeze/Thaw	B.7
	Wind	B.8
Biological agents	Biological factors Micro-organisms Insects Other animals Plants	B.9
Stress agents	Stress factors Sustained Intermittent	B.10
Chemical and physical agents	Incompatibility Soil contamination	B.11
Use agents	Normal wear and tear Abuse by the user	B.12

Anche la UNI 8290 fornisce un elenco dei principali agenti che sollecitano il sistema tecnologico. La norma propone un raggruppamento di agenti in diverse categorie:

- Naturale (agente dovuto alle condizioni ambientali esterne al sistema edilizio non legate all'intervento dell'uomo)
- Artificiale (agente dovuto alle condizioni ambientali esterne al sistema edilizio modificate dall'intervento dell'uomo)
- Dovuto alla concezione (progettazione) degli edifici (agente indotto da scelte tipologiche e/o tecnologiche operate per ottenere determinati comportamenti di ambienti ed oggetti edilizi)
- Dovuto all'utilizzazione (utenza) degli edifici (agente indotto dalle attività svolte nell'ambito degli organismi edilizi)

Si riporta di seguito, in figura 4, un esempio di classificazione di alcuni agenti secondo le suddette categorie (Appendice A) e un esempio applicativo (Appendice B).

FIGURA 5.4

Tabella degli agenti di degrado secondo la norma UNI 8290- Parte 3

Gruppi di agenti	Naturali	Artificiali	Dovuti alla concezione degli edifici	Dovuti all'utilizzazione degli edifici
composti chimici diversi	gesso solfati solfuri	acqua regia diluenti diluenti sintetici fumi inquinamento solfati solfuri	calce diluenti fumi gesso inquinamento malta di cemento malta di gesso materiali cementizi materiali da costruzione solfati solfuri	acqua ossigenata acqua regia ammoniaca candeggianti domestici detergenti diluenti fumi inchiostro inquinamento sapori schiume detergenti
deiezioni	deiezioni di animali domestici deiezioni di animali volatili		deiezioni di animali domestici	deiezione di animali domestici deiezioni umane
elettricità	correnti da acc. elettrost. correnti galvaniche fulmini potenziale elettrochimico	campi magnetici correnti correnti da acc. elettrost. correnti di alimentazione correnti di uso domestico correnti galvaniche correnti parassite correnti vaganti potenziale elettrochimico	campi magnetici correnti correnti da acc. elettrost. correnti di alimentazione correnti galvaniche correnti parassite correnti vaganti potenziale elettrochimico	campi magnetici correnti da acc. elettrost. correnti di uso domestico potenziale elettrochimico
fuoco	autocombustione incendio	braci combustione incendio	combustione incendio	braci combustione incendio sigarette

FIGURA 5.5

Tabella degli agenti di degrado secondo la norma UNI 8290- Parte 3

Gruppi di agenti	Naturali	Artificiali	Dovuti alla concezione degli edifici	Dovuti all'utilizzazione degli edifici
acidi	acidità del terreno acido carbonico acido solforico	acido carbonico acido solforico	 acido solforico	aceto acido carbonico acido citrico acido muriatico acido solforico
acqua	acqua di condensa acqua di dilavamento acqua di falda acqua meteorica acqua sotterranea acqua superficiale condensa ghiaccio grandine nebbia nebbia salina neve pioggia umidità vapore d'acqua	acqua di dilavamento acqua di infiltrazione acqua per uso domestico nebbia nebbia salina	acqua di condensa acqua di dilavamento acqua usata condensa umidità vapore d'acqua	 acqua di rifiuto acqua per uso domestico acqua usata condensa ghiaccio umidità vapore d'acqua
alcoli				alcol denaturato alcol etilico
anidridi	anidride carbonica	anidride carbonica anidride solforica anidride solforosa	anidride solforica anidride solforosa	anidride carbonica
animali superiori vertebrati	animali selvatici	animali domestici roditori		animali domestici animali da allevamento
aria	aria in movimento aria in quiete moti convettivi pressione atmosferica vento	moti convettivi	aria in movimento moti convettivi	aria in movimento moti convettivi
basi	idrossido di ammonio idrossido di calcio idrossido di potassio idrossido di sodio		idrossido di calcio idrossido di potassio idrossido di sodio	idrossido di ammonio idrossido di calcio
calore	calore del terreno calore dell'acqua calore dell'aria calore di irraggiamento sbalzo termico	calore di irraggiamento sbalzo termico	calore dell'acqua calore dell'aria calore di apparecchiature calore di irraggiamento sbalzo termico	calore corporeo calore dell'acqua calore dell'aria calore di apparecchiature calore di irraggiamento sbalzo termico

5.2 Scelta dei fattori

Come è facile osservare, tutti gli assetti proposti contengono numerosi fattori sicuramente fortemente rappresentativi dei contesti sollecitati in cui avviene il degrado ma non tutti risultano di facile (o possibile) gestione ai fini della valutazione della vita utile di un elemento edilizio. In particolare stante la volontà di effettuare una “previsione” non è possibile contemplare tra i fattori da considerare quelli che per la loro stessa natura non sono prevedibili o non inducono effetti di degrado prevedibili.

Il decadimento prestazionale in cui, infatti, si sostanzia il degrado di un manufatto o di un suo elemento può anche non essere dovuto ad una evoluzione spontanea e naturale, ovvero fisiologica, ma essere influenzato da eventi accidentali ed inattesi spesso connessi alla presenza nella soluzione tecnica di difetti o altri fattori patologici di disturbo.

E’ pertanto possibile distinguere un degrado spontaneo da uno cosiddetto patologico.

Il primo dipende da fattori di naturale invecchiamento ovvero è legato a leggi naturali di decadimento fisico e prestazionale. Gli agenti (o i fattori) che lo influenzano sono pertanto quelli climatici (es. temperatura, umidità relativa, pioggia, vento, ecc.), quelli ambientali (inquinamenti, vicinanza al mare, ecc.) e quelli di configurazione, tecnologia, forma o posizione dell’elemento considerato.

Questi ultimi in particolare sono fondamentali quando non si considera l’invecchiamento di un materiale bensì di un elemento o elemento edilizio; in tal caso, infatti, a parità di materiali, tali fattori possono rappresentare una discriminante imprescindibile per il degrado degli elementi stessi.

Nel secondo caso, invece, il degrado è influenzato (spesso accelerato) da agenti inattesi o di difficile previsione, la cui influenza contrasta con il concetto convenzionale di invecchiamento spontaneo e naturale.

Tra gli agenti che caratterizzano detta condizione possiamo includere gli errori di progettazione, di esecuzione, l’assenza o gli errori di manutenzione, i problemi che possono insorgere da un uso non congruo o corretto.

Appare chiaro che solo un invecchiamento naturale può essere oggetto di previsione. Pertanto quando si parla di previsione della vita utile di un elemento è possibile riferirsi solo ai tempi di vita in cui si innescano processi di degrado fisiologico e naturale.

Il degrado di cui si è parlato innesci situazioni di guasto¹³ che è possibile valutare e studiare, ai fini della stima della durabilità e della programmazione di interventi manutentivi, attraverso dei segni che si definiscono anomalie¹⁴.

¹³ Deterioramento che rende inutilizzabile o non più rispondente alla sua funzione un elemento tecnico o una sua parte. *Il guasto può derivare da una funzione patologica o da fatti connessi al normale invecchiamento (definizione dal glossario curato dalla commissione di lavoro CIB W86 – Building Pathology).*

Tale premessa giustifica il fatto che l'individuazione dei fattori di degrado di un definito elemento deve essere seguita da un ulteriore importante passaggio rappresentato proprio dalla selezione di detti fattori e dalla loro organizzazione in gruppi omogenei in base alla loro stessa natura ed al tipo di effetti indotti.

Il criterio di selezionare è legato, come detto, alla natura fisiologica del degrado indotto; quello di raggruppamento può essere invece variabile e legato alla specifica natura dell'elemento considerato, oltre che alla natura del fattore stesso.

In particolare per i metodi di valutazione della durata presentati in questo contesto si è stabilito di considerare i seguenti gruppi omogenei di fattori:

1. CLIMATICI
2. AMBIENTALI
3. DI CONFIGURAZIONE
4. TECNOLOGICI

Ad ognuno di questi gruppi, dunque, corrispondono una serie di fattori i quali possono variare in assetto e numero a seconda dell'elemento per il quale si sta effettuando la valutazione ed a seconda del contesto sollecitante in cui detto elemento risulta inserito. In particolare, per un elemento di facciata di un manufatto, quale ad esempio un intonaco, si può adottare la valutazione del seguente assetto di fattori sollecitanti:

<i>1. Fattori Climatici</i>	<i>2. Fattori Ambientali</i>	<i>3. Fattori di Configurazione</i>	<i>4. Fattori Tecnologici</i>
1 – Temperatura	1 – Esposizione	1 – Caratteristiche superficiali: scabrezza e colore	1 - Presenza elem. protettivi
2 - Δt giornaliero	2 – Prospicienza mare	2 - Forma	2 - Punti critici
3 - Vento	3 - Inquinamento	3 - Estensione	
4 - Pioggia	4 - Prospicienza altri edifici	4 - Giacitura	
5 - Neve	5 - Vibrazioni		
6 - Umidità			

¹⁴ Manifestazione percepibile visivamente o strumentalmente, più o meno evidente; può avere rilevanza sintomatica o meno per l'individuazione del guasto o del difetto. L'indagine diagnostica ha il compito di stabilirne la rilevanza rispetto al degrado riscontrato (*definizione dal glossario curato dalla commissione di lavoro CIB W86 – Building Pathology*).

Capitolo 6

Proposta metodologica per la valutazione della durata

6.1 Premessa

Il metodo proposto si basa sul presupposto di poter stimare la vita utile di servizio di un componente edilizio in qualunque contesto, valutando la peculiarità del caso in oggetto come deviazione da un valore medio-normale ottenuto preliminarmente su base sperimentale.

Si caratterizza attraverso un algoritmo nel quale il valore di riferimento, definito medio-normale (Dmn), viene modificato da coefficienti correttivi che rappresentano, relativamente ai fattori che influenzano il degrado, lo scostamento del caso in oggetto da quello di riferimento.

Il metodo ha due versioni, definite metodo “diretto” e metodo “indiretto”, le quali si differenziano unicamente per la determinazione dei coefficienti correttivi e per l'algoritmo di calcolo della durata, avendo in comune i presupposti teorici fondamentali.

Questi ultimi riguardano sostanzialmente la natura del valore medio-normale assunto quale riferimento, i fattori di influenza del degrado cui corrispondono i coefficienti correttivi e i metodi di definizione dei coefficienti correttivi che traducono le peculiarità di detti fattori di influenza.

6.2 Valore medio-normale

Il valore di durata medio-normale (Dmn), ovvero la durata del componente in oggetto nelle condizioni che si assumono come medio-normali, è determinato come la media statistica dei valori rilevati dallo studio di un certo numero di edifici-campione da selezionare secondo precisi criteri e caratterizzati da condizioni analoghe assunte come condizioni di riferimento (o medio-normali).

I criteri di scelta per la formazione del campione di edifici devono essere i seguenti:

- qualità e quantità delle informazioni disponibili: anno di costruzione, tecnologie costruttive, lavori eseguiti ed anomalie riscontrate nel corso degli anni, ecc.;
- possibilità di effettuare attività di monitoraggio, atta ad individuare le variazioni significative in termini di prestazioni degli elementi costruttivi;
- caratteristiche degli interventi eseguiti: possibilità di comparazione, grado di innovazione, ecc.;
- omogeneità dei fattori di influenza;

- possibilità, rispetto a quanto esposto al punto precedente, di avere una variabilità per singoli gruppi di fattori di influenza, allo scopo di poterne valutare correttamente la loro ponderazione.

6.3 Fattori di influenza e condizioni di variazione

La valutazione della durata in servizio di un elemento impone innanzitutto la individuazione dei fattori che la influenzano.

Come già si è avuto modo di ribadire, un presupposto molto importante per l'applicazione della metodologia proposta è dato dall'adozione dell'ipotesi che il degrado, in relazione al quale definire la durata dell'elemento stesso, sia legato al solo invecchiamento spontaneo e naturale e non a quello di tipo patologico.

Prescindendo, dunque, da agenti quali gli errori di esecuzione, progettazione, uso o gestione, si possono individuare quei fattori che abbiano maggiore influenza sul comportamento del componente considerato: la individuazione degli stessi, così come il loro peso sul valore di durata, varia da componente a componente.

La scelta dei fattori, così come il peso della loro influenza sul valore della durata è dunque oggetto di specifica determinazione al variare dell'elemento considerato.

Ad esempio, per un elemento di facciata i fattori di influenza, suddivisi in gruppi omogenei, possono essere individuati come esposto nel paragrafo 5.2

La suddivisione in gruppi consente da un lato una maggiore facilità di gestione dei dati, dall'altra di attenuare le conseguenze di un eventuale errore di valutazione.

Scelti i fattori, occorre definirne le condizioni di variazione ovvero le diverse condizioni in cui ogni fattore esprime la propria natura e, dunque, la propria influenza. Ad esempio, per il fattore "esposizione" le condizioni di variazione sono rappresentate dalle varie esposizioni del componente nei confronti dei riferimenti cardinali (nord, sud, est, ovest).

Quando l'individuazione di dette condizioni non è immediata si può ricorrere a definizioni e classificazioni legate ai contenuti di norme tecniche (come, ad esempio, le condizioni di variazione del fattore "vento" desunte dal D.M. 16 Gennaio 1996, o di quello "temperatura", desunte dal DPR 412/93), risultati di studi sperimentali e dati raccolti sul campo.

6.4 Calcolo della durata

Noto il valore di durata medio-normale, determinate nel modo descritto le condizioni di variazione relative a tutti i fattori assunti per il componente prescelto, occorre definire coefficienti che traducono numericamente la

diversità di comportamento del caso in oggetto da quello di riferimento (medio-normale).

Si propongono a tale fine due possibili alternative: un approccio indiretto ed uno diretto.

6.4.1 Metodo indiretto

La relazione analitica che dà la possibilità di correggere un valore di riferimento (medio-normale) con coefficienti che traducano la peculiarità del caso in oggetto è la seguente:

$$D_{pp} = D_{mn} \times \prod F_i$$

in cui:

D_{pp} è il valore della “durata più probabile”, corrispondente alla durata del componente considerato, nelle condizioni ipotizzate;

D_{mn} è il valore “medio-normale” della durata, ovvero quella del componente considerato nelle condizioni assunte come medio-normali ovvero di riferimento;

F_i sono i coefficienti correttivi da associare a ciascun gruppo di fattori omogenei individuati, in una fase preliminare, in quanto ritenuti influenti sulla vita utile dell'elemento considerato.

La definizione di questi ultimi passa attraverso l'attribuzione di punteggi (P) alle condizioni di variazione precedentemente definite, i quali traducano, in termini numerici, la differente influenza delle citate condizioni di variazione di ogni fattore sul medesimo componente.

I punteggi risultano inversamente proporzionali alla rispettiva capacità di indurre situazioni di inaffidabilità e sono direttamente collegati alla determinazione del valore dei coefficienti correttivi finali (F).

In relazione, ad esempio, al fattore “esposizione”, se si stabilisce che la condizione *est* influisce meno sul degrado dell'elemento considerato di quanto non faccia quella *nord* allora le si attribuirà un punteggio maggiore.

L'attribuzione dei punteggi può essere basata sull'esperienza, su dati raccolti da edifici campione, su informazioni fornite da produttori, fornitori o addetti ai lavori, ovvero desunta dalla letteratura scientifica.

Attraverso l'elaborazione dei punteggi che corrispondono alle condizioni in oggetto si passa ai coefficienti correttivi (F_i) da impiegare nella formula.

Nel metodo indiretto i coefficienti correttivi si riferiscono ai gruppi omogenei in cui questi risultano organizzati: ad ogni gruppo corrisponde un singolo fattore.

Inoltre, ogni gruppo costituito da m fattori ha un range ΔF di valori possibili compresi tra un massimo ed un minimo: questo range corrisponde al peso che il gruppo ha nei confronti della definizione della durata D_{pp}.

All'interno di ogni range vi è il valore medio-normale (il quale non è detto che sia per forza al centro dell'intervallo) a cui evidentemente corrisponde il coefficiente correttivo 1: i valori compresi fra tale valore ed il minimo

assumeranno valori minori dell'unità (in quanto provocano diminuzione della durata), quelli compresi fra tale valore ed il massimo avranno valori maggiori dell'unità (in quanto corrispondenti a condizioni migliorative per la durata).

Dalla somma dei valori minimi di punteggio di ogni set di condizioni di variazione del gruppo di fattori considerato, si ha il punteggio minimo complessivo P_{\min} cui corrisponde il limite inferiore del range ΔF_i di variazione del coefficiente corrispondente al gruppo; analogamente dalla somma dei punteggi massimi si ha il punteggio massimo complessivo P_{\max} cui corrisponde invece il limite superiore di ΔF . La somma dei punteggi corrispondenti alle condizioni medio-normali fornisce invece il valore P_{mn} cui corrisponderà il valore 1 del coefficiente F .

Definiti:

ΔF_i lo scarto che può assumere l'iesimo coefficiente correttivo (corrispondente all'iesimo gruppo di fattori d'influenza);

P_{\max} il valore massimo complessivo;

P_{\min} il valore minimo complessivo;

P_{mn} il valore della condizione medio-normale;

il valore F_i del coefficiente correttivo, corrispondente al gruppo iesimo di fattori d'influenza, sarà compreso tra i valori F_{\min} e F_{\max} :

$$F_{\min} = 1 - | [\Delta F_i / \Delta P \times (P_{mn} - P_{\min})] |$$

$$F_{\max} = 1 + | [\Delta F_i / \Delta P \times (P_{\max} - P_{mn})] |$$

genericamente:

$$F_i = 1 + | [\Delta F_i / \Delta P \times (P_i - P_{mn})] |$$

La determinazione di F_i per ciascun gruppo i di fattori è schematizzata nel prospetto seguente:

GRUPPO i				
Fattore 1			Fattore m	
Condizione	Punteggio	...	Condizione	Punteggio
Ci-11	Pi-11		Ci-m1	Pi-m1
Ci-12	Pi-12		Ci-m2	Pi-m2
Ci-13	Pi-13	...	Ci-m3	Pi-m3
...
Ci-1n	Pi-1n		Ci-mn	Pi-mn

In sostanza, per l'applicazione del metodo indiretto occorre definire:

- il valore “medio-normale” della durata;
- i fattori che influenzano la durata, ovvero le cause che influenzano l’obsolescenza fisiologica del componente;
- il criterio di raggruppamento di detti fattori;
- i coefficienti correttivi da associare ai fattori, ciascuno ponderato in funzione del peso che si ritiene di attribuirgli, ovvero dell’incidenza che si è constatato essi hanno in realtà;
- il criterio di selezione dei casi di studio;
- le modalità di rilievo delle informazioni che si raccolgono per i casi di studio prescelti;
- i casi di studio correlati a Dmn, ovvero quelli ritenuti in situazione “medio-normale”;
- il criterio di scomposizione dell’organismo edilizio in parti, alle quali poi riferire i valori di durata da determinare;
- i casi di studio o le prove di laboratorio o i dati di esperienza che consentono il proporzionamento e la taratura dei coefficienti Fi.

6.4.2 Metodo diretto

La relazione che traduce analiticamente la possibilità di correggere un valore di riferimento (medio-normale) con coefficienti, la cui determinazione è diretta e non filtrata dall’attribuzione di punteggi alle condizioni di variazione dei fattori di influenza assunti, è la seguente:

$$Dpp = Dmn \times \Sigma(\lambda_i Fi/100)$$

in cui:

Dpp e Dmn hanno il medesimo significato del metodo diretto;

Fi sono i coefficienti correttivi da associare ad ogni fattore singolarmente considerato;

λ_i rappresentano i pesi che definiscono l’influenza relativa dei vari fattori nei confronti del degrado del componente in oggetto. Per motivi di opportunità il valore di ogni coefficiente viene assunto in modo che la somma totale risulti pari a 100; su tale base si effettuerà, dunque, la media pesata, come si evince dalla formula del metodo sopra riportata.

Anche in questa versione del metodo il primo step è rappresentato dall’individuazione dei fattori di influenza e delle relative condizioni di variazione. In particolare, si dovranno apprezzare, per ogni fattore, le differenze tra la condizione che coincide con l’assetto medio-normale e le rimanenti giacché i coefficienti correttivi derivano in maniera diretta da tale valutazione relativa.

La differenza di comportamento apprezzata consente di definire il coefficiente correttivo che traduce numericamente la deviazione della condizione di variazione richiamata da quella in cui si trova l'assetto di riferimento e cioè il caso medio-normale. Tale apprezzamento va fatto per tutte le condizioni di variazione di tutti i fattori cosicché le stime che ne conseguono portino alla definizione di tutti i coefficienti correttivi relativi F_i .

Il passaggio successivo è quello di attribuire ad ogni fattore un peso (λ_i) che definisca la sua relativa influenza nei confronti della durata del componente considerato. Tale attribuzione va effettuata al variare di ogni componente edilizio di cui si intenda stimare la durata giacché sia i fattori che il loro peso nei confronti del degrado dipendono dalla natura del componente stesso.

I momenti fondamentali del metodo risultano pertanto essere:

- a) la definizione dei criteri e delle modalità che consentono di apprezzare, e tradurre in termini numerici, la differenza di comportamento di un medesimo componente nelle diverse condizioni con cui si definiscono i fattori di influenza in riferimento al caso medio-normale;
- b) la determinazione dei pesi con cui i fattori influiscono sulla durata del componente considerato.

Per la definizione del punto a) può essere seguito un criterio analogo a quello richiamato per la stessa scelta delle condizioni di variazione.

La valutazione, infatti, può avvenire sostanzialmente nei seguenti modi:

- attribuzione empirica dei valori basata sull'elaborazione statistica di dati raccolti sul campo da casi-studio in cui sono registrabili comportamenti e situazioni analoghe a quelle in oggetto;
- attribuzione empirica dei valori basata sull'analisi dei risultati di studi e ricerche sull'argomento, di indicazioni ed informazioni desumibili dagli addetti ai lavori (produttori, costruttori, tecnici, ecc.), di dettami riportati in leggi o norme tecniche di settore o di dati provenienti da altre fonti adeguate;
- determinazione sperimentale con l'ausilio di prove di laboratorio che consentano di valutare la relatività delle diverse condizioni di variazione dei fattori d'influenza in maniera reciproca e rispetto al caso assunto come riferimento (valori medio-normali), desunto sempre su base statistica grazie a dati raccolti sul campo.

E' conveniente in generale applicare una combinazione delle tre strategie sopra riportate e pertanto alcuni valori possono essere discriminati grazie ad informazioni statistiche, altri sulla scorta di riferimenti normativi e/o di risultati desunti da studi di settore ed altri ancora, in riferimento ad alcuni fattori di natura climatica ed ambientale, sulla base dei risultati di test di laboratorio.

Sulla scorta di tali informazioni saranno quindi definite le percentuali che rappresentano lo scarto tra le diverse condizioni di variazione da cui può essere caratterizzato ogni fattore; tali percentuali di scarto, come si è detto, corrispondono, a parità di valore di tutti gli altri coefficienti, alla differenza di durata e comportamento dello stesso elemento nelle diverse condizioni definite dal fattore in oggetto, in riferimento al caso medio-normale (D_{mn}). L'attribuzione dei pesi può invece avvalersi dell'esperienza, di dati statistici o

di osservazioni di comportamenti in servizio di un campione di edifici, seguendo il medesimo criterio con cui si è giunti alla definizione del dato medio-normale.

6.5 Esempio applicativo

Si consideri un elemento di facciata, ad esempio un intonaco tinteggiato.

In generale, un possibile assetto di fattori influenti il degrado di tale elemento è illustrato nel paragrafo 5.2

Per ognuno di detti fattori, sulla scorta dei metodi e delle possibilità prospettate, è possibile definire delle condizioni di variazione.

Ad esempio, per il fattore “neve” si può utilizzare la zonizzazione proposta dal D.M. 16.01.1996, così come visibile in figura 1, che porta alla definizione di tre condizioni di variazione tra cui ci sarà quella corrispondente all'assetto assunto quale riferimento e definito medio-normale.

Il coefficiente F_i legato a tale condizione sarà dunque pari ad 1, quelli delle rimanenti condizioni tradurranno invece la differenza di comportamento apprezzabile rispetto al caso medio-normale.

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, le condizioni di variazione dei diversi fattori a cui corrisponde il valore medio-normale, per la campionatura realizzata (prendendo in considerazione 50 edifici nella città di Napoli, selezionati con i criteri elencati in precedenza) per l'implementazione del metodo, relativa ad intonaci di facciata di edifici con struttura in c.a., realizzati con malta comune e tinteggiati con pittura a base di quarzo; l'elaborazione statistica dei dati desunti ha fornito la griglia di parametri (la cui specificazione è evidentemente impossibile fornire dettagliatamente in questa sede) riportata nel prospetto seguente:

Condizioni medio-normali per l'esempio riportato.

FATTORE		CONDIZIONE MEDIO-NORMALE
Fattori Climatici	Temperatura	Zona C
	Δt giornaliero	Zona B
	Vento	Zona 3
	Pioggia	Riparata
	Neve	Zona III
	Umidità	< 85%

Fattori Ambientali	Esposizione Irraggiamento	Sud-ovest
	Prospicienza mare	Sì
	Inquinamento	Ambiente non aggressivo
	Prospicienza altri edifici	D<<H
	Vibrazioni	Traffico intenso/veloce
Fattori di Configurazione	Scabrezza	Superficie liscia
	Colore	Chiaro
	Forma	Superficie piana
	Estensione	S < 400 mq o con aperture
	Giacitura	Verticale
Fattori Tecnologici	Presenza di elementi protettivi	
	<i>balconi</i>	Presenti a tratti lungo la facciata e con L/H < 0,3
	<i>cornicioni</i>	Sì
	Punti critici	
	<i>pilastrì e solette a filo con la muratura</i>	No
	<i>variazione di spessore nella muratura</i>	No
	<i>ringrossi d'intonaco, fasce marcapiano, cornici delle finestre.</i>	Sì
	<i>pluviali inserite nelle murature</i>	No

E' evidente che, per una attendibile determinazione della durata, occorre definire preliminarmente anche le caratteristiche dell'intonaco, della pittura e del supporto su cui l'intonaco stesso viene realizzato.

Con tale assetto di riferimento, la condizione corrispondente al caso medio-normale è dunque la zona III (Vedere figura).

ZONE DI NEVE	
Zona I	Fx Dmn
Zona II	Fy Dmn
Zona III	1 Dmn

FIGURA 6.1

Zonizzazione del territorio nazionale proposta dal D.M. 16 gennaio 1996



La definizione dei due coefficienti F_x e F_y può avvenire così come descritto, così come l'attribuzione, nei confronti del degrado dell'elemento in oggetto, del peso I che compete al fattore "neve".

Analogo criterio si adotta per tutti i fattori considerati così da ottenerne i pesi relativi, le condizioni di variazione e i coefficienti corrispondenti che saranno impiegati nella formula di applicazione del metodo.

Per l'esempio in oggetto si propongono una serie di scelte e risultati riassunti in due prospetti:

- il prospetto A, con l'elenco dei fattori, i relativi pesi e la metodologia seguita per la valutazione del comportamento relativo al caso medio-normale con la specifica della fonte da cui si sono tratte le informazioni necessarie per giustificare la scelta dei valori scelta che si assumeranno per tradurre tale differenza.

-Il prospetto B, con l'elenco dei fattori e delle relative condizioni di variazione in corrispondenza delle quali devono essere definiti i coefficienti di correzione dei valori medio-normali.

PROSPETTO A

FATTORE		PESO FATTORE	Fonte delle informazioni per la valutazione del comportamento
Fattori Climatici	Temperatura	8	Prove di laboratorio
	Δt giornaliero	4	Osservazioni sul comportamento in servizio
	Vento	6	Osservazioni sul comportamento in servizio
	Pioggia	8	Risultati di studi e ricerche
	Neve	4	Indicazioni normative (es. DM 16 gennaio 1996)
	Umidità	5	Osservazioni sul comportamento in servizio Indicazioni normative
Fattori Ambientali	Esposizione Irraggiamento	6	Osservazioni sul comportamento in servizio Prove di laboratorio

	Prospicienza mare	10	Prove di laboratorio
	Inquinamento	9	Osservazioni sul comportamento in servizio
	Prospicienza altri edifici	4	Risultati di studi e ricerche
	Vibrazioni	6	Osservazioni sul comportamento in servizio
Fattori di Configurazione	Scabrezza	4	Osservazioni sul comportamento in servizio
	Colore	5	Indicazioni normative (es. BS 7523)
	Forma	2	Risultati di studi e ricerche
	Estensione	4	Osservazioni sul comportamento in servizio
	Giacitura	5	Indicazioni normative (es. DIN)
Fattori Tecnologici	Presenza di elementi protettivi	6	Risultati di studi e ricerche
	Punti critici	4	Risultati di studi e ricerche Osservazioni sul comportamento in servizio

PROSPETTO B

FATTORE	PES O	CONDIZIONI DI VARIAZIONE	COMPORTAMENT O RISPETTO A Dmn
TEMPERATURA	8	Zone A - B	x Dmn
		Zone C - D	Dmn
		Zone E - F	x Dmn
ΔT GIORNALIERO	4	Zona A	x Dmn
		Zona B	Dmn
		Zona C	x Dmn
VENTO	6	Zone 1-2	x Dmn
		Zona 3	Dmn
		Zone 4-5	x Dmn
		Zone 6-7	x Dmn
		Zone 8-9	x Dmn
PIOGGIA	8	Riparata	Dmn
		Moderata	x Dmn
		Severa	x Dmn
NEVE	4	Zona I	x Dmn
		Zona II	x Dmn
		Zona III	Dmn
UMIDITA'	5	U.R. < 85 %	Dmn
		U.R. > 85%	x Dmn
ESPOSIZIONE IRRAGGIAMENTO	6	Sud	x Dmn
		Sud/Ovest – Sud/Est	Dmn

		Est/Ovest	x Dmn
		Nord/Ovest – Nord/Est	x Dmn
		Nord	x Dmn
PROSPICIENZA MARE	10	Salmastra	Dmn
		Neutra	x Dmn
INQUINAMENTO	9	Alto	x Dmn
		Medio	Dmn
		Basso	x Dmn
		Assente	x Dmn
PROSPICIENZA ALTRI EDIFICI	4	Protezione elevata	x Dmn
		Protezione media	x Dmn
		Fronte libero	Dmn
VIBRAZIONI	6	Non rilevanti	x Dmn
		Zone a traffico intenso	Dmn
		Fonti speciali	x Dmn
SCABREZZA	4	Superficie liscia	Dmn
		Superficie scabra	x Dmn
COLORE	5	Nero	x Dmn
		Colore scuro	x Dmn
		Colore chiaro	Dmn
		Bianco	x Dmn
FORMA	2	Superficie Piana	Dmn
		Superficie Curva	x Dmn
ESTENSIONE	4	< 400 mq o con aperture	Dmn

		> 400 mq senza aperture	x Dmn
GIACITURA	5	Orizzontale	x Dmn
		Inclinata (45°)	x Dmn
		Verticale	Dmn
CORNICIONI	2	Non presenti	x Dmn
		Presenti	Dmn
BALCONI	4	Non presenti	x Dmn
		Presenti a tratti lungo la facciata e con L/H < 0,3	Dmn
		Presenti su tutta la facciata e con L/H < 0,3	x Dmn
		Presenti a tratti lungo la facciata e con L/H > 0,3	x Dmn
		Presenti su tutta la facciata e con L/H > 0,3	x Dmn
PUNTI CRITICI:	4	Presenza:	
Pilastrì e solette a filo con la muratura		Si / No	x Dmn/Dmn
Variazione di spessore nella muratura		Si / No	x Dmn/Dmn
Ringrossi d'intonaco, fasce marcapiano, cornici delle finestre.		Si / No	Dmn/x Dmn
Pluviali inserite nelle murature		Si / No	x Dmn/Dmn

I valori "x Dmn" rappresentano invece i coefficienti correttivi F_i da determinare con i metodi suggeriti per la correzione del valore medio-normale.

Il lavoro di definizione dei coefficienti, dei pesi e del valore medio normale sarà eseguito in una fase di studio preliminare, e dunque in fase esecutiva il progettista chiamato a determinare il valore di durata di un componente dovrà limitarsi a selezionare le condizioni che si verificano nel caso oggetto di studio e, utilizzando i valori precedentemente assegnati, giungere a determinare lo specifico valore di durata utilizzando la formula proposta:

$$D_{pp} = D_{mn} \times \Sigma(\lambda_i F_i / 100).$$

Capitolo 7

Proposta metodologica per la determinazione del ciclo di condizionamento

7.1 Premessa

In riferimento ai fattori di cui sopra e allo scopo di valutare e prevedere il comportamento di un predefinito elemento edilizio, si propone un programma di prove basato su un'analisi di tipo comparativo tra diversi contesti sollecitanti ovvero tra diverse aree climatiche del paese, allo scopo di definire le specificità di ciascuna di dette aree mediante cicli differenziati.

I punti fondamentali di tale programma possono così essere riassunti:

- scelta dei contesti climatici da valutare;
- selezione dei fattori di influenza da valutare e ricreare in laboratorio nei test di prova;
- ricerca normativa per l'impostazione (procedurale e sostanziale) delle prove;
- selezione e reperimento dei dati climatici necessari;
- definizione della soluzione tecnologica da testare e composizione dei campioni di prova;
- definizione delle soglie prestazionali e dei corrispondenti stati di degrado;
- scelta delle prove (distruttive e non distruttive) da eseguire sui campioni durante e a conclusione dei cicli di prova allo scopo di valutare le diverse reazioni, in termini di caduta prestazionale, per i diversi contesti sollecitanti ricreati nei test sperimentali;
- definizione e composizione dei cicli di prova:
 - scelta dei sotto-cicli ovvero della natura di questi in riferimento alle stagioni climatiche da simulare;
 - determinazione dei valori termoigrometrici caratteristici per ogni sotto-ciclo;
 - determinazione della durata teorica di ogni sotto-ciclo;
- standardizzazione delle procedure di composizione dei cicli di prova con determinazione di valori di soglia per la composizione di test che simulino ogni possibile contesto climatico;
- esecuzione delle prove preliminari di calibratura e validazione dei cicli;
- esecuzione dei cicli;
- registrazione dei dati ed esecuzione delle prove sui campioni sottoposti ai test di invecchiamento;
- raccolta ed elaborazione dei dati;

- confronto dei dati ottenuti in riferimento alla medesima soluzione di copertura continua dai diversi cicli di prova.

7.2 Scelta dei contesti climatici da valutare

Il nostro paese si divide in aree climatiche molto diverse tra loro, dove il livello delle precipitazioni piovose e nevose, la temperatura, le escursioni termiche, l'umidità, la ventosità sono estremamente variabili se non tanto da un punto di vista dell'intensità sicuramente da quello della stagionalità e della durata con cui i fenomeni si manifestano con una data intensità. Ciò premesso, si è stabilito di riferirsi esemplificativamente a tre contesti abbastanza caratteristici di tre diverse aree geoclimatiche, e si è pertanto deciso di studiare le condizioni che caratterizzano le città di Milano, Napoli e Palermo.

7.3 Selezione dei fattori di influenza

Nella logica di valutare tutti i possibili fattori che influenzano in generale il degrado di un elemento edilizio ma di considerare, come già ribadito, esclusivamente quelli che inducono un invecchiamento di tipo naturale si è proposta una griglia di agenti di degrado organizzati in gruppi omogenei.

Tra questi quelli di maggior riferimento sono sicuramente gli agenti del primo gruppo omogeneo, e tra questi quelli da considerare necessariamente sono le precipitazioni a carattere piovoso (valutandone frequenza, intensità, caratteristiche), le precipitazioni nevose ed i relativi carichi di neve, i venti (distinti per regime, intensità, stagionalità), le temperature medie e quelle assolute, le escursioni termiche, l'umidità relativa, l'irraggiamento solare e per alcuni di questi, come vento e pioggia, gli effetti combinati.

In particolare, gli elementi che verranno valutati per la definizione dei cicli di prova sono:

- pioggia
- temperatura (assoluta e media)
- umidità relativa
- irraggiamento solare

La scelta è legata alla volontà di riprodurre i contesti termo-igrotermici caratteristici delle tre città campione.

7.4 Selezione e reperimento dati climatici

Per la determinazione dei valori caratteristici da assumere nella fase di definizione dei sotto-cicli si rende necessario uno studio delle principali caratteristiche climatiche delle aree geografiche scelte.

In particolare vanno reperiti i dati climatici che possono essere così riassunti:

- andamento della temperatura dell'aria: massime e minime assolute, massime e minime medie, escursioni termiche;
- fenomeni di inversione termica;
- andamento della pressione parziale del vapore nell'aria;
- andamento della velocità e direzione del vento;
- piovosità media annuale e media mensile nonché numero di giorni di pioggia annuali;
- andamento della irradiazione solare diretta e diffusa sul piano orizzontale;
- andamento della irradiazione solare per diversi orientamenti di una superficie.

Per il reperimento dei dati di cui sopra si può fare riferimento al servizio meteorologico dell'Aeronautica Italiana, alle cartografie tecniche e tematiche regionali, alle pubblicazioni Istat o ai numerosi siti internet che offrono servizi legati alle previsioni e alla elaborazione statistica di dati meteo.

In particolare, i dati climatici disponibili presso i servizi meteorologici possono essere riferiti:

- ad un particolare periodo temporale di rilievo dei dati;
- ad un “anno tipo”, definito su base deterministica attraverso medie matematiche di dati rilevati durante un periodo di osservazione adeguatamente lungo;
- ad un “anno tipo probabile”, definito a partire da dati rilevati durante un periodo di osservazione adeguatamente lungo e rielaborati con criteri probabilistici.

Gli elementi reperiti andrebbero comunque adattati alla zona oggetto di analisi per tenere conto di elementi che possono influenzare la formazione di un microclima caratteristico conseguente a:

- topografia: altezza relativa, pendenza del terreno e suo orientamento, ostruzioni alla radiazione solare ed al vento, nei diversi orientamenti;
- relazione con l'acqua (vicinanza al mare, ai laghi, ecc);
- relazione con la vegetazione;
- tipo di forma urbana, densità edilizia, altezza degli edifici, tipo di tessuto urbano (orientamento degli edifici nel lotto e rispetto alla viabilità, rapporto reciproco tra edifici, ecc.), ecc.

Nel caso in oggetto, tutti i dati, di temperatura, umidità, pioggia, ecc., di cui ai paragrafi successivi, si riferiscono alle condizioni riassunte nella seguente tabella, riferite agli ultimi 5 anni:

Pioggia	N. di giorni di pioggia in un anno	Valore ottenuto dalla media dei valori annui
	Intensità di pioggia	Valore ottenuto dalla media dei valori medi annui.
Temperatura	Minima assoluta	Valore ottenuto dalla media dei valori di minima assoluta
	Minima media	Valore ottenuto dalla media dei valori mensili, calcolati come media fra i minimi giornalieri
	Massima assoluta	Valore ottenuto dalla media dei valori di massima assoluta
	Massima media	Valore ottenuto dalla media dei valori mensili, calcolati come media fra i massimi giornalieri
Umidità	Umidità relativa	Valore ottenuto dalla media mensile dei valori annui
Irraggiamento	N. di giorni di sole in un anno	Valore ottenuto dalla media dei valori annui
	Andamento dell'irradiazione solare	Valore ottenuto dalla media dei valori annui

Si allegano, a puro titolo di esempio, alcuni grafici esemplificativi delle fasi di raccolta dei dati climatici necessari alla composizione dei cicli di prova per le tre città prescelte. I dati in questione sono un importante riferimento per la scelta delle stagioni climatiche che caratterizzano i cicli di prova nonché per la definizione della lunghezza dei sottocicli, con la quale nei cicli si schematizzano dette stagioni, e dei valori di soglia (temperatura, umidità, irraggiamento, ecc.) da adottare nei segmenti per i tre casi assunti.

FIGURA 7.1

n. giornate di pioggia in un anno

MILANO	100
NAPOLI	70
PALERMO	50

FIGURA 7.2
precipitazioni medie annue

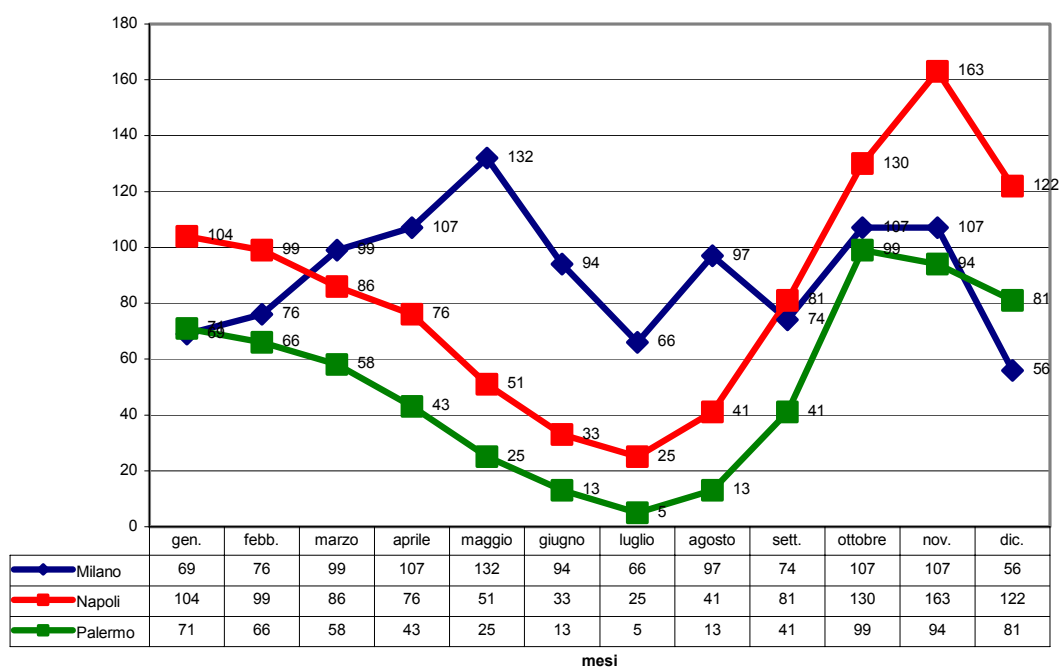


FIGURA 7.3
temperature medie minime

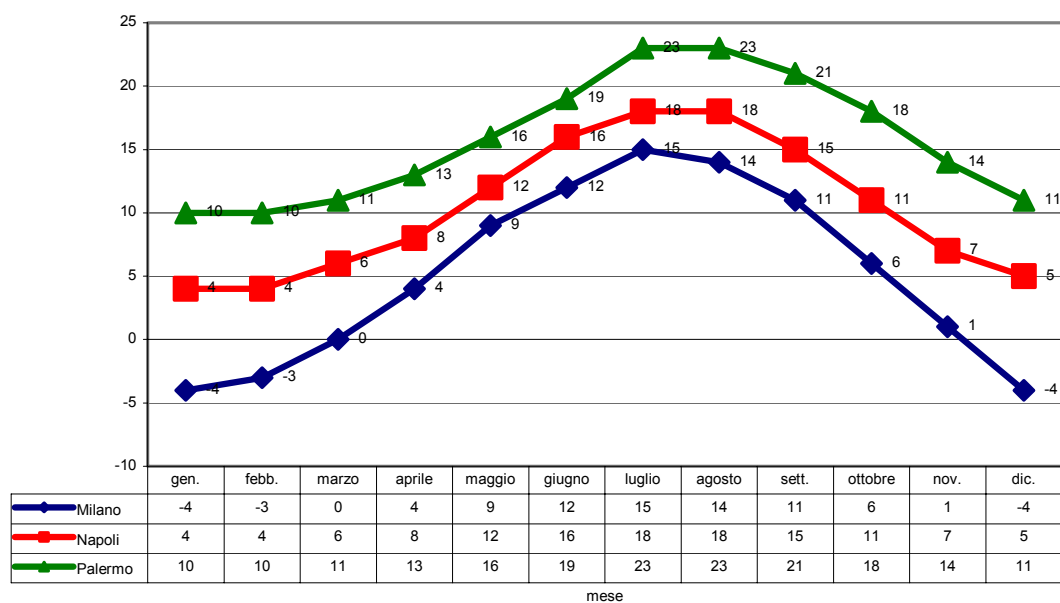


FIGURA 7.4
temperature medie massime

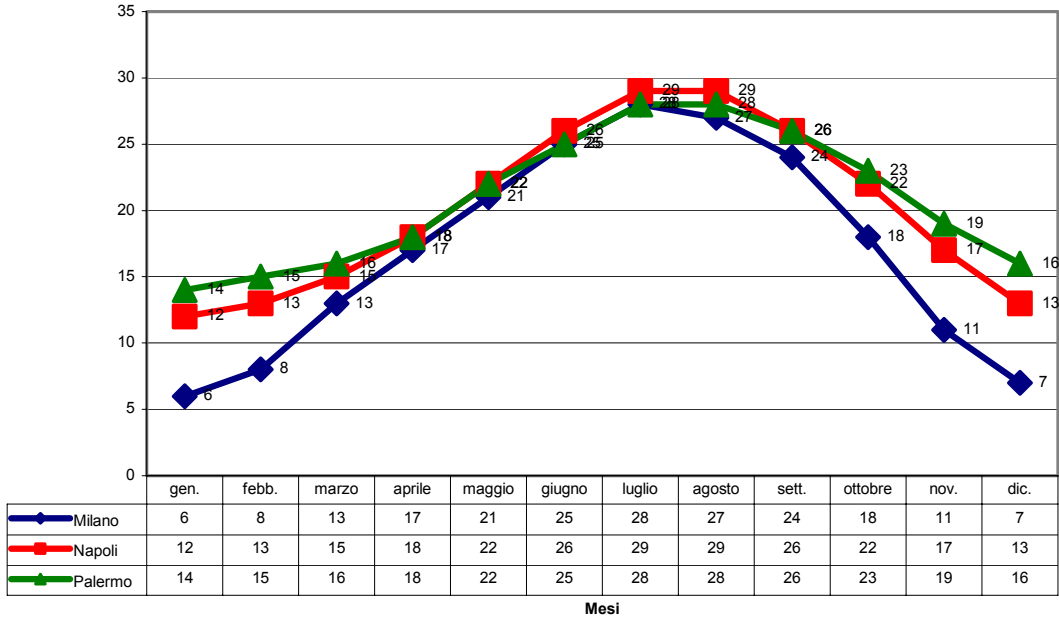


FIGURA 7.5
umidita' relativa

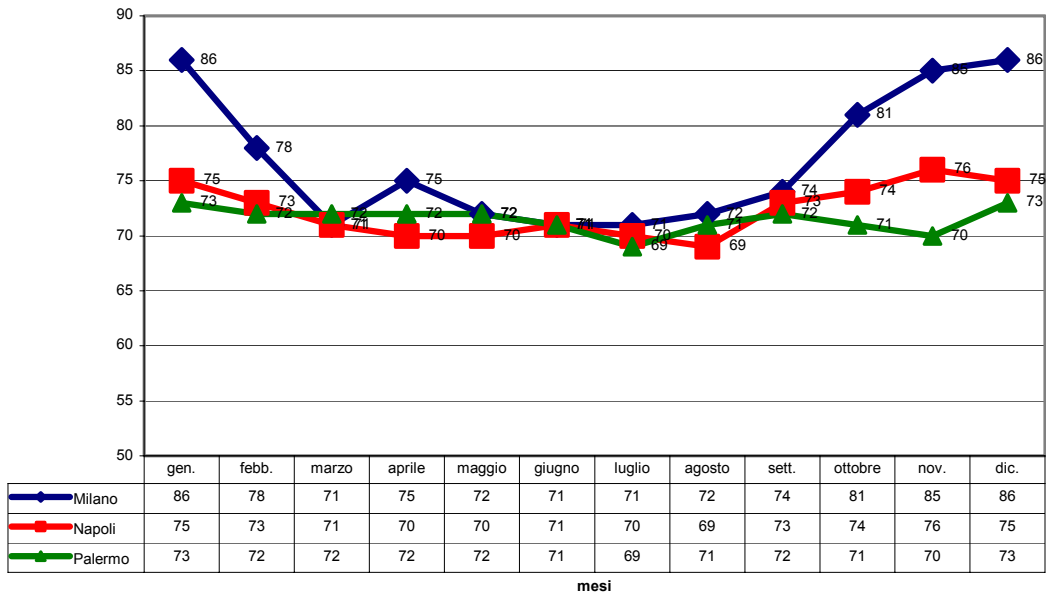
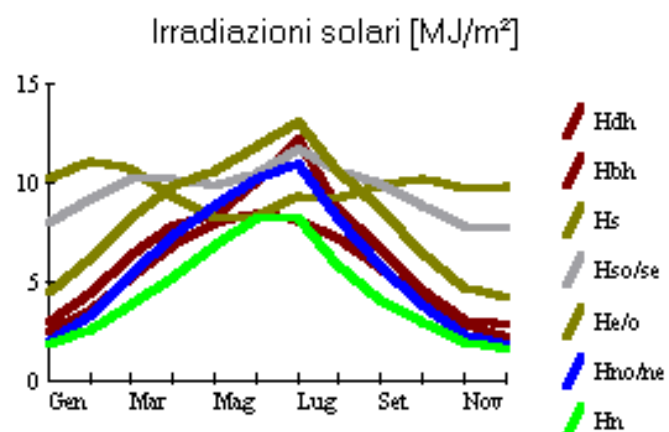
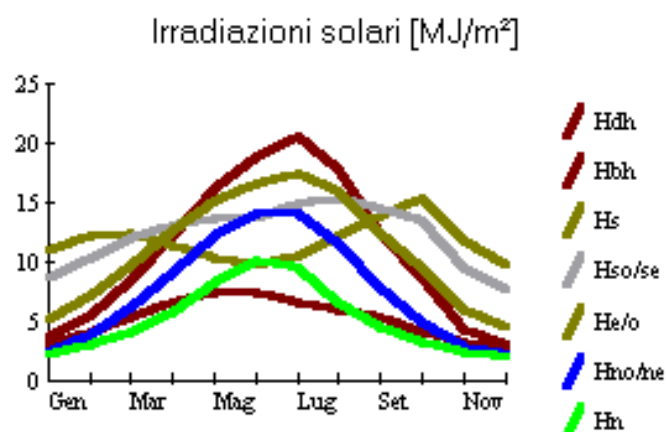


FIGURA 7.6

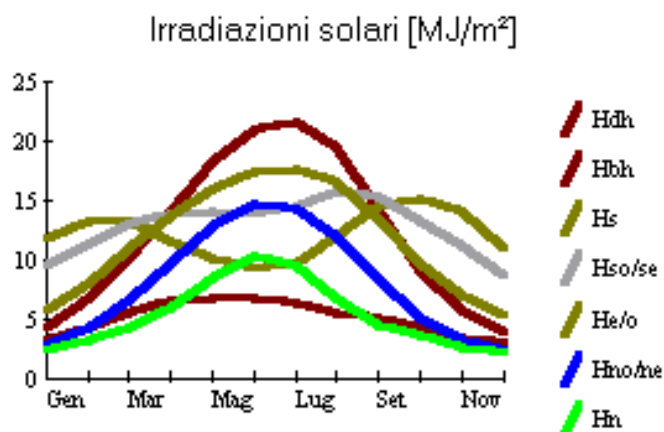
Irraggiamento solare



Andamento medio mensile dell'irradiazione solare per la città di Milano



Andamento medio mensile dell'irradiazione solare per la città di Napoli



Andamento medio mensile dell'irradiazione solare per la città di Palermo

In cui:

Hdh Irradiazione solare giornaliera media diretta sul piano orizzontale

Hbh Irradiazione solare giornaliera media diffusa sul piano orizzontale

Hs Irradiazione solare globale sul piano verticale su superficie esposta a

Sud

Hso/se Irradiazione solare globale sul piano verticale su superficie esposta a **SO-SE**

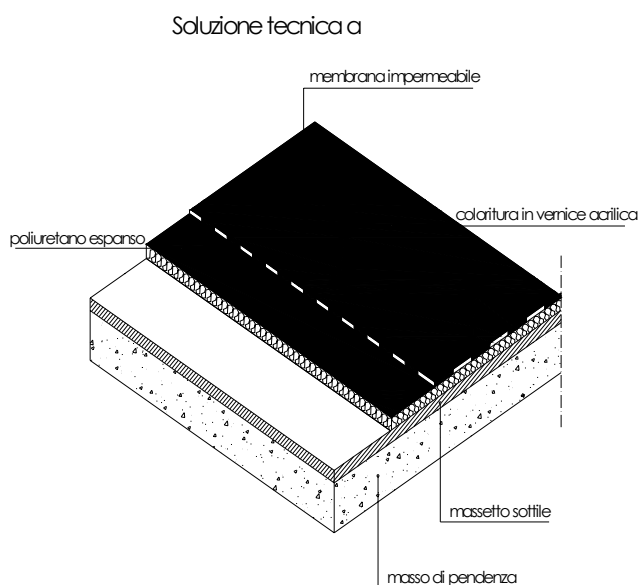
He/o Irradiazione solare globale sul piano verticale su superficie esposta a **Est-Ovest**

Hno/ne Irradiazione solare globale sul piano verticale su superficie esposta a **NO-NE**

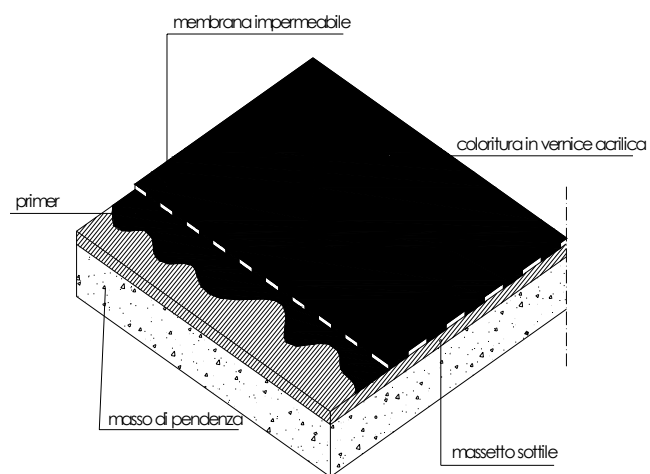
Hn Irradiazione solare globale sul piano verticale su superficie esposta a **Nord**

7.5 Composizione dei campioni di prova

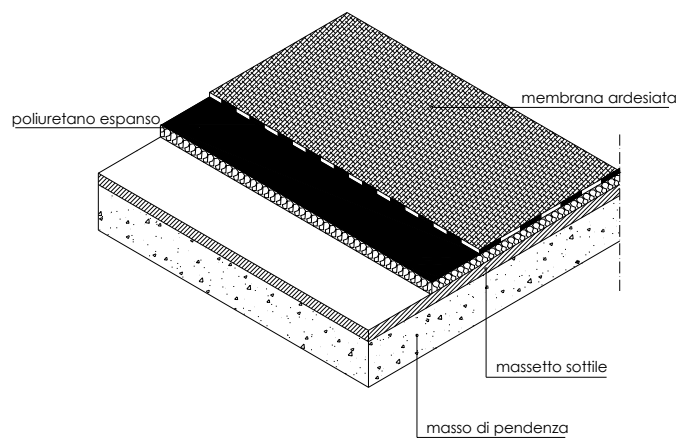
Dopo aver studiato le caratteristiche dell'elemento, in termini oggettuali, pretazionali, funzionali, tipologici, ecc., si è provveduto a stilare un repertorio di soluzioni e tra queste, per le prove in oggetto, si sono prescelte alcune soluzioni da testare, adottando, nella scelta, come criterio preferenziali, quello della maggiore diffusione della soluzione di copertura. In particolare, le soluzioni predilette sono le seguenti:



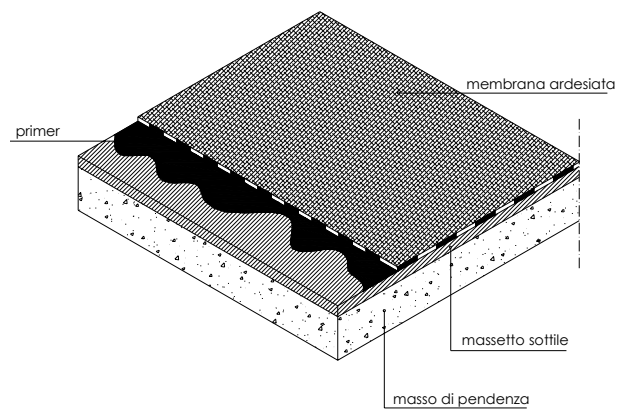
Soluzione tecnica b



Soluzione tecnica c



Soluzione tecnica d



7.6 Definizione e composizione dei cicli di prova

La composizione dei cicli di prova viene effettuata sulla scorta di riferimenti normativi, ove presenti, e dell'osservazione delle caratteristiche dei contesti climatici i cui effetti sui campioni prescelti si intendono simulare in laboratorio, non prescindendo – in ogni caso – dalla conoscenza delle caratteristiche e delle potenzialità delle celle climatiche in dotazione.

In particolare si sono individuate quattro stagioni climatiche da ricreare con le potenzialità della cella climatica in dotazione del Laboratorio D.IN.E., le quali per durata, intensità e valore degli agenti atmosferici rispecchiano i fenomeni climatici riscontrabili in un anno meteorologico tipo per le tre città campione.

I quattro segmenti o sottocicli che si susseguono nella definizione dei cicli di prova sono determinati, per durata, sequenza e valori degli agenti, sulla scorta dell'osservazione delle condizioni caratteristiche, ovvero durata, intensità, e predominanza, delle stagioni climatiche cui essi corrispondono nonché dell'elaborazione di tutti i dati climatici raccolti per le tre città in riferimento agli anni tipo prescelti.

Si è, pertanto, giunti ad individuare i sottocicli, di seguito riportati, corrispondenti ad altrettante stagioni climatiche. Alcuni di questi avranno valori uguali, di temperatura (Es. i 25 C° del segmento *Caldo mite secco*), umidità o irraggiamento, per le tre città perché tali valori caratterizzano la stagione stessa ma sarà la diversa durata del sottociclo a tradurre la predominanza e la maggiore o minore influenza della stagione in oggetto nell'ambito dei contesti climatici prescelti; altri sottocicli, invece, saranno caratterizzati da valori diversi, specifici per le zone individuate, ed in ugual misura avranno durate diverse a seconda delle diverse caratteristiche con cui la stagionalità che rappresentano si presenta per i tre diversi contesti.

Nella graficizzazione dei cicli, di cui agli schemi seguenti, non si è tenuto conto dei tempi di passaggio dai regimi di temperatura ed umidità di un segmento a quelli del segmento successivo, ragion per cui le durate complessive degli stessi riportate nei grafici sono da intendersi "lorde".

TABELLA DI CARATTERIZZAZIONE DEI SOTTOCICLI

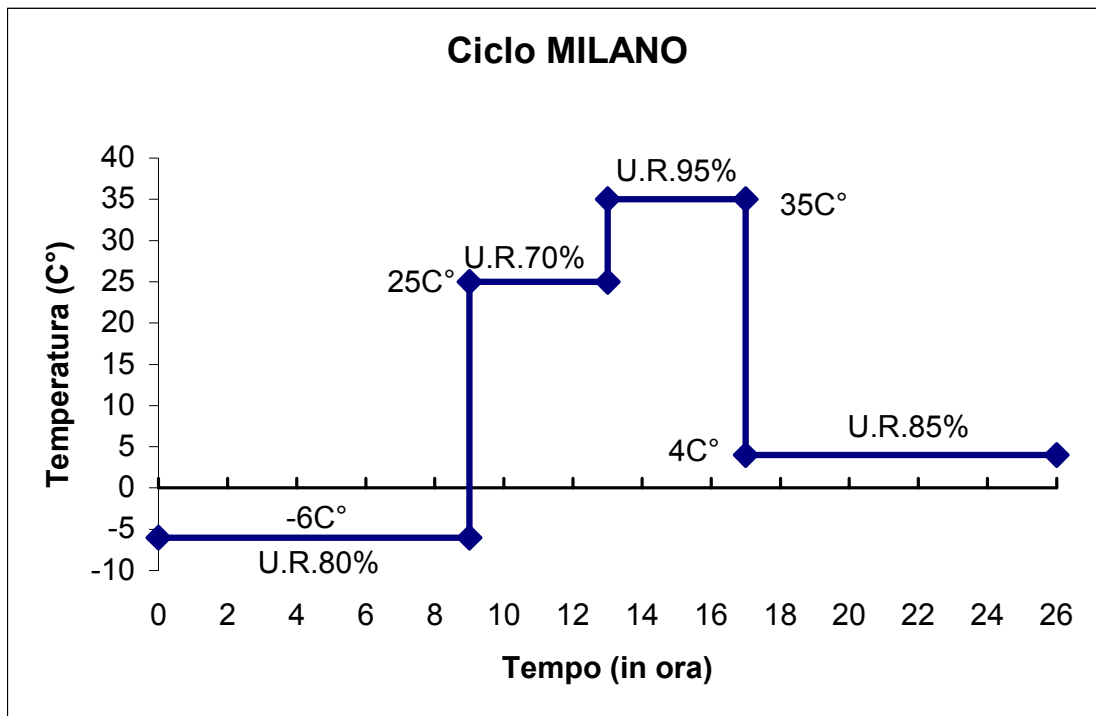
SOTTOCICLI		Temperatura	Umidità	Irraggiamento	Acqua
A	FREDDO	Valore della minima assoluta di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto.	Valore medio di zona per la stagione in oggetto		
B	CALDO MITE	Valore della massima media di	Valore medio di zona per la	Eventuale accensione	

	SECCO	zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto OPPURE 25 C°	stagione in oggetto	della lampada allo Xeno	
C	CALDO INTENSO UMIDO	Valore della massima assoluta di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto.	95%	Eventuale accensione della lampada allo Xeno	
D	PIOGGIA	Valore della minima media di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto.	Valore medio di zona per la stagione in oggetto		Aggiunta di 30 mm di acqua per le coperture e Spruzzo per le pareti

Tutto ciò premesso, stante i dati climatici raccolti e le osservazioni sulla natura, durata ed intensità degli agenti per le città di Milano, Napoli e Palermo, si sono definiti i seguenti cicli di prova:

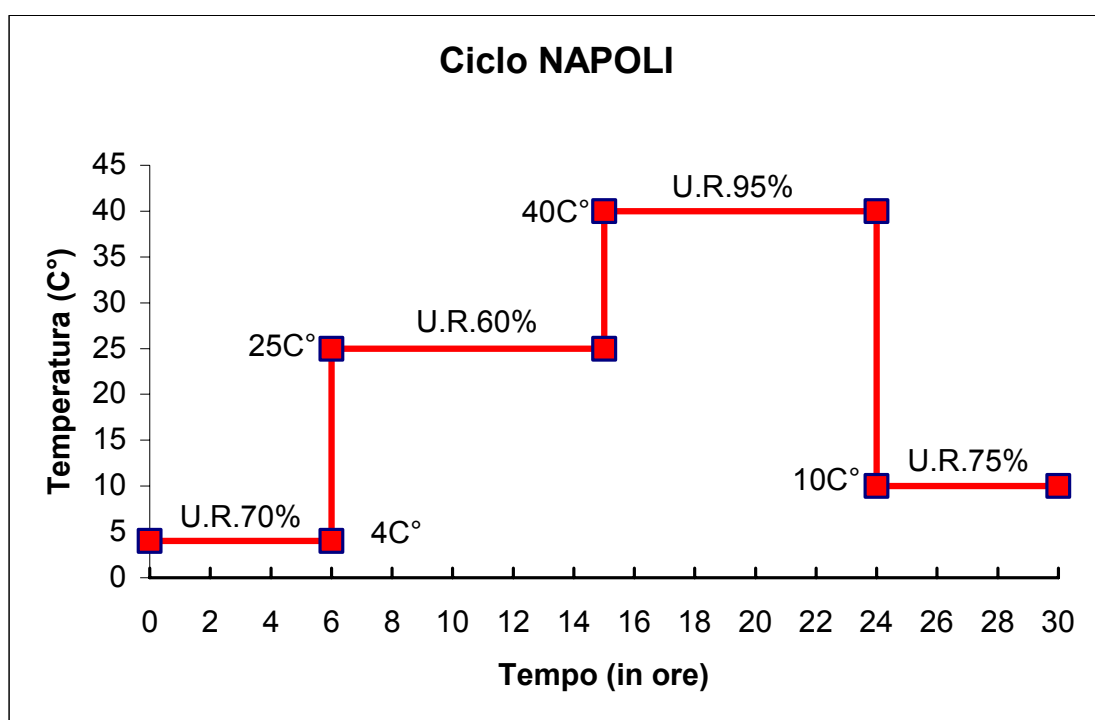
MILANO

SOTTOCICLI		Durata	Temp.	Umidità	Irrag.	Acqua
A	<i>FREDDO</i>	9 h	-6 C°	80%	No	No
B	<i>CALDO MITE SECCO</i>	4 h	25 C°	70%	No	No
C	<i>CALDO INTENSO UMIDO</i>	4 h	35 C°	95%	Si	No
D	<i>PIOGGIA</i>	9 h	4 C°	85%	No	Si



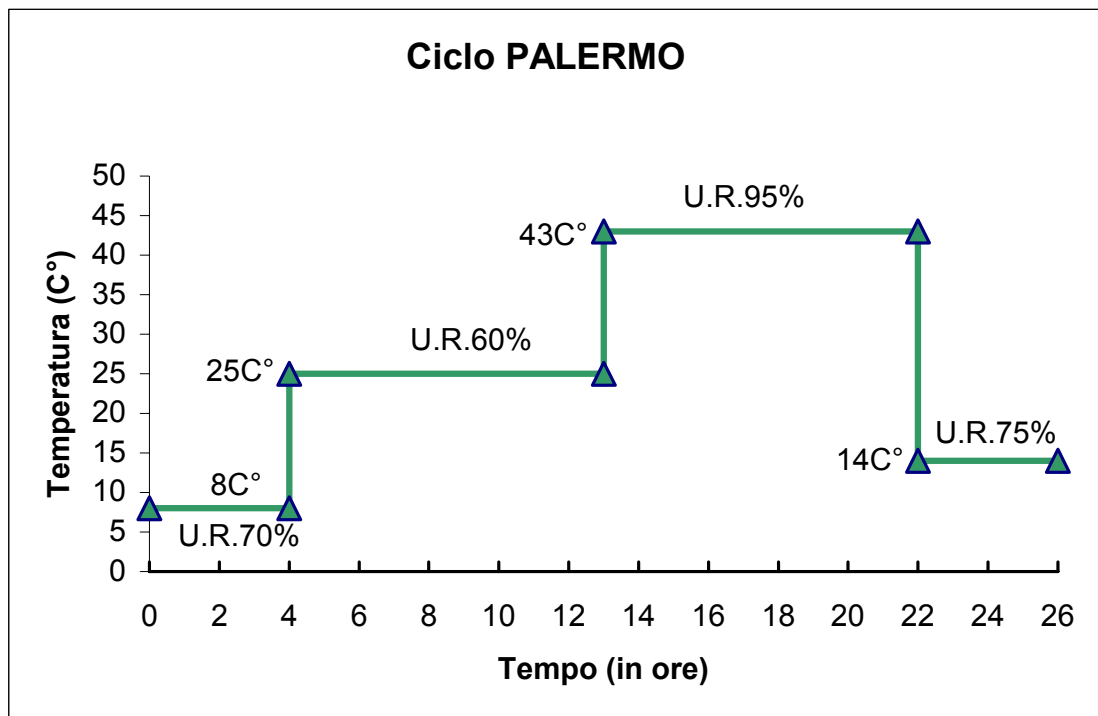
NAPOLI

	SOTTOCICLI	Durata	Temp.	Umidità	Irrag.	Acqua
A	<i>FREDDO</i>	6 h	4 C°	70%	No	No
B	<i>CALDO MITE SECCO</i>	9 h	25 C°	60%	Si	No
C	<i>CALDO INTENSO UMIDO</i>	9 h	40 C°	95%	Si	No
D	<i>PIOGGIA</i>	6 h	10 C°	75%	No	Si



PALERMO

SOTTOCICLI		Durata	Temp.	Umidità	Irrag.	Acqua
A	FREDDO	4 h	8 C°	70%	No	No
B	CALDO MITE SECCO	9 h	25 C°	60%	Si	No
C	CALDO INTENSO UMIDO	9 h	43 C°	95%	Si	No
D	PIOGGIA	4 h	14 C°	75%	No	Si



7.7 Note per la composizione dei cicli in qualunque contesto climatico

Adottando i criteri compostivi della tabella riepilogativa relativa alla consistenza dei sottocicli A, B, C e D (TABELLA DI CARATTERIZZAZIONE DEI SOTTOCICLI), riportata nel paragrafo precedente, è possibile comporre, così come in questo caso si è fatto per i contesti climatici delle città di Milano, Palermo e Napoli, il ciclo di simulazione di un qualunque ambiente sollecitante. In particolare, si propone di seguito una schematizzazione delle scelte che dovrà effettuare l'operatore relativamente non solo ai dati strettamente climatici (temperatura ed umidità) ma anche alle modalità di accensione della lampada nei due segmenti di caldo e soprattutto alle durate dei vari segmenti in cui si concretizzano i sottocicli citati. La trattazione verrà, in prima istanza, effettuata per i singoli sottocicli e verrà proposta sotto forma di indicazioni dirette per la scelta di dati climatici e durate da parte dell'utente interessato a comporre e personalizzare il ciclo per il contesto climatico di proprio interesse.

Si fa notare che la durata dei segmenti non è messa in relazione ai soli dati climatici in termini di intensità di temperatura e/o umidità ma viene anche valutata, come si è già avuto modo di dire, l'incidenza della stagione climatica sul clima annuale. Ad esempio, picchi alti di temperatura nei mesi più caldi si registrano ormai tanto a Milano quanto a Palermo, volendo citare due contesti climatici tipicamente diversi, ma l'intensità e la durata del periodo di caldo afoso in cui tali picchi possono verificarsi, così come l'impatto sull'andamento dell'intero anno climatico, possono essere sensibilmente diversi.

Allo scopo di schematizzare anche quest'ultima condizione si considera la zonizzazione del territorio nazionale proposta dal decreto 412/93 sulla base dei gradi-giorni¹⁵ registrabili per le varie località. Il decreto suddivide il territorio nazionale in 6 zone¹⁶, che qui verranno però valutate a due a due attesa la similitudine di comportamento, ai fini della presente ricerca, rilevata per le aree A e B, C e D nonché E ed F. L'incrocio dei dati climatici in termini

¹⁵ Si intende per "gradi giorno" di una località, la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 gradi centigradi, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno (GG).

¹⁶ Il territorio nazionale è suddiviso nelle seguenti sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, indipendentemente dalla ubicazione geografica:

Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600; Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900; Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400; Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100; Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000; Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.

di valore assoluto o medio con la percentuale di impatto della patagio climatica di riferimento sull'andamento dell'anno climatico, qui schematizzata con le zone da A ad F del decreto, consentirà dunque di valutare la corretta lunghezza con cui la citata stagione dovrà essere schematizzata nel sottociclo di riferimento.

Alla luce di tali considerazioni, dunque, si propongono le seguenti schematizzazioni:

Sottociclo A - FREDDO: Definizione condizioni climatiche		
Parametro	Istruzione	Valore
Temperatura	Digitare il valore della minima assoluta di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto	X C°
Umidità	Digitare il valore medio di zona per la stagione in oggetto	Y %
Irraggiamento	Non accendere mai la lampada	---
Acqua	Non allagare mai	---
Zona climatica	Stabilire zona di appartenenza	Zone A/B/C/D/E/F

Sottociclo A - FREDDO: Definizione lunghezza segmenti	
Zona climatica	Valore
Zone A/B	4 h
Zone C/D	6 h
Zone E/F	9 h

Sottociclo B - CALDO MITE SECCO: Definizione condizioni climatiche		
Parametro	Istruzione	Valore
Temperatura	Digitare il valore della massima media di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto	25 C°
Umidità	Digitare il valore medio di zona per la stagione in oggetto	Y %
Irraggiamento	Accendere la lampada per le zone A/B/C	Valore massimo
Acqua	Non allagare mai	---
Zona climatica	Stabilire zona di appartenenza	Zone A/B/C/D/E/F

Sottociclo B - CALDO MITE SECCO: Definizione lunghezza segmenti	
Zona climatica	Valore
Zone A/B/C	9 h
Zone D	6 h
Zone E/F	4 h

Sottociclo C - CALDO INTENSO UMIDO: Definizione condizioni climatiche		
Parametro	Istruzione	Valore
Temperatura	Digitare il valore della massima assoluta di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto.	X C°
Umidità	Digitare un valore fisso	95 %
Irraggiamento	Accendere sempre la lampada	Valore massimo
Acqua	Non allagare mai	---
Zona climatica	Stabilire zona di appartenenza	Zone A/B/C/D/E/F

Sottociclo C - CALDO INTENSO UMIDO: Definizione lunghezza segmenti	
Zona climatica	Valore
Zone A/B/C	9 h
Zone D	6 h
Zone E/F	4 h

Sottociclo D - PIOGGIA: Definizione condizioni climatiche		
Parametro	Istruzione	Valore
Temperatura	Digitare il della minima media di zona registrata nel periodo dell'anno che rappresenta la stagione climatica in oggetto.	X C°
Umidità	Digitare il valore medio di zona per la stagione in oggetto	Y %
Irraggiamento	Non accendere mai la lampada	---
Acqua	Allagare	30 mm di acqua
Zona climatica	Stabilire zona di appartenenza	Zone A/B/C/D/E/F

Sottociclo D - PIOGGIA: Definizione lunghezza segmenti	
Fascia di Pioggia	Valore
Fascia 1: meno di 50 gg	4 h
Fascia 2: tra 50 e 90 gg	6 h
Fascia 3: più di 90 gg	9 h

Bibliografia essenziale

ASTM G 7, Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials, 1997.

ASTM E 632, Developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials, 1996.

ASTM G 169, Standard Guide for Application of Basic Statistical Methods to Weathering Tests, 2001.

ASTM G 172, Standard Guide for Statistical Analysis of Accelerated Service Life Data, 2003

ASTM G 166, Standard Guide for Statistical Analysis of Service Life Data, 2005.

ASTM D 3617. Standard Practice for Sampling and Analysis of New Built-Up Roof Membranes,. 2002

ASTM E 907. Standard Test Method for Field Testing Uplift Resistance of Adhered Membrane Roofing Systems, 2004

Bardelli P. G., Borasi V., La manutenzione programmata: metodi per la scelta corretta del livello di qualità degli elementi costituenti l'involucro esterno degli edifici, Atti del Convegno "Tecniche e tecnologie del recupero", Sagep, Genova, 1984.

Bardelli P. G., Borasi V., Rilevamento del comportamento nel tempo degli elementi costituenti l'involucro esterno di un edificio. Metodi per una scelta corretta del livello di qualità degli stessi in funzione della loro manutenibilità programmata, atti del 1° Congresso Nazionale dell'Area Produzione Edilizia del CNR, Ancona, 1984.

Bardelli P.G., Scarzella G.P., L'affidabilità in edilizia e il suo miglioramento, Qualità n° 10/83.

Bassan M., Valutazione della durabilità di materiali e componenti, Modulo n.7-8/85.

Bazowsky I., Principi e metodi dell'affidabilità, Etas, Milano, 1969.

Bertuglia C.S., Mela A., Preto G., Reale A., Socco C., Obsolescenza e recupero dell'abitazione nei centri urbani, Guida, Napoli, 1974.

Bianchi F., Affidabilità e manutenibilità, Itaca, Milano, 1994.

BS 7543, Guide to durability of buildings and building elements, products and components.

Christian J., Life time costs and quality, atti del convegno "Defects in buildings", Varenna, 1996.

CIB W80 / RILEM TC 140-TSL Committee on Service Life of Building Materials and Components, Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components, 2004.

CIB WORKING COMMISSION W86 "BUILDING PATHOLOGY"; "Building Pathology a State-of-the-Art Report". Final draft, 1992.

Ciribini G., Introduzione alla tecnologia del design, F. Angeli, Milano, 1979.

Ciribini G., Durabilità e problemi manutentivi nell'attività di recupero, Recuperare n.6/83.

Croce S., Progetto e durabilità, Modulo n.140/88.

Croce S., Deterioration propensity of modern facades: analysis criteria, atti del convegno "Defects in buildings", Varenna, 1996.

Croce S., Pavoni G., Pollo R., Durability survey methodology of building systems in design process, atti del convegno "Defects in buildings", Varenna, 1996.

Croce S., in AA.VV. Manuale di progettazione edilizia Fondamenti, strumenti, norme, Vol. IV: Tecnologie – Requisiti, soluzioni, esecuzione, prestazioni, HOEPLI Editore, Milano

D'Alessio T., Meucci G., Somma R., I metodi dell'affidabilità, F. Angeli, Milano, 1987.

DIRETTIVA 89/106/CEE del 21/12/88 concernente i prodotti da costruzione, G.U.C.E. 11 febbraio 1989.

ISO 15686-1 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 1: General principles

ISO 15686-2 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 2, Service life prediction procedures ISO 15686-3 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 3, Performance audits and reviews

ISO 15686-4 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 4, Data dictionary (Technical Report)

ISO 15686-5 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 5, Whole-life costing

ISO 15686-6 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 6, Procedures for considering environmental impacts

ISO 15686-7 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 7, Performance evaluation for feedback of service life data from practise

ISO 15686-8 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 8, Reference service life

ISO 15686-9 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 9, Guide on service life declarations for building products

ISO 15686-10 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 10, Serviceability

ISO 15686-11 Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 11, Terminology

Maggi P.N., Il processo edilizio, Città Studi, Milano, 1994.

Maggi P.N., Gottfried A. Morra L., Qualità tecnologica dei prodotti complessi per l'edilizia. Quaderno DISET vol. 1, 1992.

Maggi P.N. (a cura di), La qualità tecnologica dei componenti edilizi: la durabilità, Epitesto, Milano, 2000.

Maggi P.N. (a cura di), La qualità tecnologica dei componenti edilizi: la valutazione della durabilità, Epitesto, Milano, 2001.

Maggi P.N., Daniotti B., Gottfried A., Morra L., Control of project pathologies of buildings components: methodology for the evaluation of the reliability, atti del convegno "Defects in buildings", Varenna, 1996.

Maggi P.N., Croce S., Bassan M., Morra L., Gottfried A., Costantini M., Daniotti B., Lucchini A., Esporazioni metodologiche sulla valutazione del comportamento nel tempo di elementi tecnici edilizi fuori sistema, atti del 2° Congresso Nazionale dell'Area Produzione Edilizia del CNR, Ancona, 1987.

Manfron V., Sul comportamento in servizio dei sistemi tecnologici per la residenza, Recuperare n° 32/87.

Marrone E., Degradazione dei materiali. Indagine conoscitiva per lo studio dei fenomeni di invecchiamento degli organismi architettonici, Officina, Roma, 1974.

Mattana G., Qualità, affidabilità, certificazione, F. Angeli, Milano, 1987.

Morabito G., Marrone P., Trovarelli P., L'affidabilità in edilizia, bollettino "Disegno Industriale e produzione edilizia", Università La Sapienza, Roma, n° 5/88.

Nicolella M., Affidabilità e durabilità degli elementi costruttivi in edilizia – Un'ipotesi metodologica per il calcolo, CUEN, Napoli, 2000.

Nicolella M., Methodology for calculation of constructive elements life cycle, Atti del Convegno Internazionale "Mantenimiento y gestion de los edificios", Barcellona, 2000

Nicolella M., Valutazione sperimentale nel tempo degli elementi costruttivi, atti del Convegno Internazionale "La prova del tempo - Verifiche degli interventi per la conservazione del costruito", Bressanone, 2000.

Nicolella M., Components service life: from field test to methodological hypothesis, atti del convegno internazionale 9th DBMC, Brisbane, Australia, 2002

Nicolella M., Artificial stone for external facing: pathologies and durability, atti del convegno internazionale "Lux et Lapis", Valtice, 2002

Nicolella M., Ipotesi per l'applicazione del concetto di affidabilità agli elementi costruttivi in edilizia, Atti del Convegno "L'arte del fabbricare", Napoli, 1989.

Nicolella M., Le otto dimensioni della qualità nelle costruzioni edili, Atti del Convegno "Le mutazioni dell'habitat - una nuova cultura del recupero", Napoli, 1991.

Nicolella M., Relazione fra durata e costi di realizzazione di un edificio, Costruire in laterizio n. 8/95.

Rejna M.G., Valutazione della qualità tecnologica utile dei prodotti complessi per l'edilizia, Quaderno DISET vol. 4., Milano, 1995.

Trivella L., Problematiche dell'involucro esterno: interventi di manutenzione delle opere di pitturazione, in "Il Recupero - cura e manutenzione", Bema, Milano, 1994.

Turchini G., Come far conoscere la qualità, Modulo n° 7-8/85.

Turchini G., La normativa delle prestazioni come strumento per la progettazione tecnologica, Prefabbricare n° 4-5/85.

Turchini G., Croce S., Qualità edilizia: la parola magica, Modulo n° 153/89.

UNI 8088. Lavori inerenti le coperture dei fabbricati. Criteri per la sicurezza.

UNI 8089. Edilizia – Coperture ed elementi funzionali.

UNI 8178. Edilizia – Coperture – Analisi degli elementi e strati funzionali.

UNI 8290. Edilizia residenziale – Sistema tecnologico – Classificazione e terminologia.

UNI 8629-1. Membrane per impermeabilizzazione di coperture. Caratteristiche prestazionali e loro significatività.

UNI 10838. Edilizia – Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia.

UNI EN 1107-1. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione della stabilità dimensionale.

UNI EN 1109. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione della flessibilità a freddo.

UNI EN 1604. Isolanti termici per edilizia. Determinazione della stabilità dimensionale in condizioni specificate di umidità e di temperatura.

UNI EN 1848-1. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione della lunghezza, della larghezza e della rettilineità - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture.

UNI EN 1849-1. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione dello spessore e della massa areica - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture.

UNI EN 1850-1. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Determinazione dei difetti visibili - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture.

UNI EN 1928:2002. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose, di materiale plastico e di gomma per impermeabilizzazione di coperture - Determinazione della tenuta all'acqua.

UNI EN 1931. Membrane flessibili per impermeabilizzazione - Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture - Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore d'acqua.

UNI EN 12086. Isolanti termici per edilizia. Determinazione delle proprietà di trasmissione del vapore acqueo.

UNI EN 12089. Isolanti termici per edilizia. Determinazione del comportamento alla flessione.

UNI EN 12311-1. Determinazione delle proprietà a trazione.

UNI EN 12316. Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture. Determinazione della resistenza al distacco delle giunzioni.

UNI EN 12317. Membrane bituminose per l'impermeabilizzazione delle coperture. Determinazione della resistenza alla trazione delle giunzioni.

UNI EN 13538. Membrane bituminose, di materiale plastico e gomma per impermeabilizzazione di coperture. Determinazione della resistenza alla grandine.

UNI EN 13707. Membrane bituminose armate per l'impermeabilizzazione di coperture – definizioni e caratteristiche.